แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

วิชา การออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 ทฤษฎี 2 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 3
หลักสูตร ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 (ปรับปรุง 2565)
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชา ไฟฟ้า
สาขางานไฟฟ้ากำลัง

จัดทำโดย

.....

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565
แผนกวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัย.....
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

แผนจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะวิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 เล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนที่เน้นให้ผู้เรียนมีสมรรถนะในการปฏิบัติงานตาม หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาไฟฟ้า สาขางานไฟฟ้ากำลัง แผนการสอนนี้ประกอบด้วย การวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชาและการวางแผนจัดการเรียนรู้ คำชี้แจงการใช้แผนการเรียนจัดการเรียนรู้ และแผนการจัดการเรียนรู้มีด้วยกันทั้งหมด 18 แผน ครอบคลุมเนื้อหา 14 หน่วยการเรียน โดยได้รวบรวมข้อมูลจากตำราวิชาการ ผู้เชี่ยวชาญและประสบการณ์ผู้สอน ซึ่งเรียบเรียงเนื้อหาสาระบทเรียนก่อนหลังให้เข้าใจง่าย จัดกิจกรรมการเรียนการสอนเหมาะสมกับระดับของผู้เรียนและมุ่งเน้นสมรรถนะรายวิชาตามโครงสร้างของหลักสูตร

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าแผนจัดการเรียนรู้นี้จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับคำติชมเพื่อประโยชน์ ในการปรับปรุงแก้ไขในโอกาส ต่อไป

สุนทร ดอนชัย
แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง
วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี

สารบัญ

หน้า

คำนำ ..... ก
สารบัญ ..... ข
คำชี้แจงการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ ..... ค
หลักสูตรรายวิชา ..... ง
ใบวิเคราะห์ผังสมรรถนะรายวิชา ..... จ
หน่วยการเรียนรู้ ..... ฉ
ตารางวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชา ..... ช
ตารางการวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชา ..... ซ
หน่วยการเรียนและสมรรถนะประจำหน่วย ..... ฌ
การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน ..... ญ
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 1 23
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 2 33
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 3 43
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 4 53
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 5 63
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 6 73
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 7 83
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 8 93
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 9 103
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 10 117
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 11 127
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 12 137
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 13 147

แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 14 157
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 15 167
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 16..... 177
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 17 187
แผนการจัดการเรียนรู้ สัปดาห์ที่ 18..... 197
สัปดาห์ที่ 19 (ครูนัดส่งงานและทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน)

คำชี้แจงการในการใช้แผนจัดการเรียนรู้
วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาไฟฟ้า สาขางานไฟฟ้ากำลัง

1. ส่วนประกอบของแผนจัดการเรียนรู้

แผนจัดการเรียน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 เล่มนี้ใช้สำหรับประกอบการสอนกับผู้เรียนทั้งห้อง ในการจัดกิจกรรมการเรียนและสื่อการเรียนการสอน ผู้สอนจะต้องประกอบกิจกรรมต่างๆ และเตรียมการสอนไปพร้อมๆ กัน โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1.1 หลักสูตรรายวิชา ประกอบด้วย จุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา

1.2 การวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชา (ชื่อหน่วย/หัวข้อเรื่อง)

1.3 การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและวัตถุประสงค์การสอน

1.4 เนื้อหาวิชา จำนวน 14 บทเรียน ประกอบด้วย

บทที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า
บทที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า
บทที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง
บทที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน
บทที่ 5 การต่อลงดิน
บทที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ
บทที่ 7 การเดินสายมอเตอร์ไฟฟ้า
บทที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า
บทที่ 9 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร
บทที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
บทที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
บทที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
บทที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน
บทที่ 14 การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง

1.5 แผนจัดการเรียนรู้แต่ละหน่วยเรียน ประกอบด้วย

1.5.1 สาระสำคัญหรือแนวคิดสำคัญ (Main Idea) คือ ส่วนแนะนำเนื้อหาในแต่ละหน่วยเรียนเพื่อให้ผู้เรียนทราบว่าเนื้อหาที่กำลังเรียนนั้นเกี่ยวข้องกับเรื่องใด สำคัญอย่างไรและกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจ

1.5.2 สมรรถนะย่อยประจำหน่วยการเรียนรู้ (Element of Competency) คือ คุณลักษณะเชิงพฤติกรรม ที่คาดหวังให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานได้ เมื่อจบบทเรียนนั้นๆ

1.5.3 จุดประสงค์ประจำหน่วยเรียน (Performance Objective) คือ พฤติกรรมที่คาดหวังไว้ เป็นเป้าหมายหรือสิ่งที่ต้องการให้ผู้เรียนประสบผลสำเร็จ หลังจากเรียนจบแต่ละหน่วยเรียนแล้ว ซึ่งมีทั้งด้านความรู้ ทักษะและเจตคติ

1.5.4 เนื้อหาสาระการสอนหรือการเรียนรู้ คือเอกสารที่รวบรวมเนื้อหาสาระที่ต้องการให้ผู้เรียนต้องเรียนรู้เพื่อบรรลุจุดประสงค์ของหน่วยเรียนนั้นๆ ได้แก่ ด้านความรู้ ด้านทักษะหรือปฏิบัติ และด้านคุณธรรม/จริยธรรม

1.5.5 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบ่งออกเป็นภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยแต่ภาคมีลำดับขั้นตอนการสอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Motivation)
ขั้นที่ 2 ขั้นศึกษาข้อมูล (Information)
ขั้นที่ 3 ขั้นพยายามหรือขั้นทำกิจกรรม (Application)
ขั้นที่ 4 ขั้นสำเร็จผล (Progress)

1.5.6 สื่อการเรียนการสอน ประกอบไปด้วย สื่อสิ่งพิมพ์ สื่อโสตทัศน์ สื่อของจริง

1.5.7 เอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย

หนังสือ คือ หนังสือประกอบการเรียนที่ผู้สอนได้สร้างขึ้น มีเนื้อหาที่ถูกต้องตามหลักวิชาการและสอดคล้องกับสมรรถนะหลักสูตรรายวิชา

คำถามท้ายบทและแบบทดสอบ คือ ชุดของข้อคำถามที่สร้างขึ้นเพื่อใช้วัดความรู้ต่างๆ ของผู้เรียนหลังจากเรียนจบแต่ละหน่วยเรียน

ใบมอบหมายงาน คือเอกสารที่ครูผู้สอนมอบหมายงานให้ผู้เรียนไปฝึกปฏิบัติด้วนตนเองนอกเหนือจากเวลาการเรียนการสอน

ใบปฏิบัติงาน คือเอกสารที่แสดงรายละเอียดการปฏิบัติงานที่เป็นขั้นตอนในงานนั้น ประกอบด้วย ชื่องาน จุดประสงค์การปฏิบัติงานหรือจุดมุ่งหมายของใบงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ วัสดุที่ใช้กับงานนั้นๆ คำสั่งให้นักศึกษาปฏิบัติงาน ขั้นตอนการปฏิบัติงาน และคำแนะนำวิธีการปฏิบัติงาน

ใบประเมินการปฏิบัติงาน คือ เอกสารที่ใช้ประเมินความสามารถในการแสดงพฤติกรรมที่เป็นผลมาจากความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skills) และคุณลักษณะเฉพาะ (Attributes) ที่ทำให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานตามใบงานที่มอบหมายได้

แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คือแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากผู้เรียนเรียนจนครบทุกหน่วยเรียนตามแผนการสอนแล้ว จำนวน 100 ข้อ

1.5.8 เอกสารอ้างอิง

1.5.9 การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

1.5.10 การวัดผลและประเมินผลประจำหน่วยเรียน

1.5.11 บันทึกหลังการใช้แผนจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

2. คำชี้แจงสำหรับผู้สอน

2.1 ก่อนทำการสอนทุกครั้ง ผู้สอนจะต้องศึกษาเนื้อหาวิชาและแผนการสอนให้เข้าใจก่อนทำการสอนและจะต้องจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อที่จะใช้ในการเรียนการสอนตามที่ระบุไว้ในแผนการสอนแต่ละสัปดาห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 ก่อนสอนในสัปดาห์แรก ครูผู้สอนต้องชี้แจงและทำข้อตกลงในการจัดการเรียนการสอนให้ชัดเจน เช่นการเข้าชั้นเรียน การวัดผลประเมินผล การใช้วัสดุหรือสื่อการสอน เป็นต้น แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลผู้เรียนและจัดทำประวัติรายบุคคล

2.3 ผู้สอนต้องดำเนินการสอนตามแผนการสอนให้ครบทุกสัปดาห์ตามที่กำหนดไว้

2.4 ก่อนสอนแต่ละหน่วยเรียน ครูผู้สอนต้องให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียนก่อน แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลการเรียนและจัดทำประวัติการเรียนของผู้เรียนรายบุคคล

2.5 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นสนใจปัญหา (Motivation) ขั้นตอนนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการเรียนรู้เพราะการเรียนรู้ที่ดีจะเกิดขึ้นได้ เมื่อผู้เรียนมีความพร้อมที่จะเรียน มีความตั้งใจและสนใจที่จะเรียน ในขั้นตอนนี้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจให้มีความต้องการที่จะเรียน เมื่อผู้เรียนต้องการทำอะไรบางอย่างที่แปลกใหม่หรือผู้เรียนได้รับมอบหมายงานซึ่งยังไม่เคยทำมาก่อนได้เลย ผู้เรียนจะประสบปัญหาและมีความสนใจที่จะแก้ปัญหานั้น โดยมีแนวทาง การปฏิบัติดังนี้

- นำเข้าสู่บทเรียนด้วยคำถามที่น่าสนใจซึ่งเกี่ยวกับเรื่องที่จะเรียน
- แสดงชิ้นงานสำเร็จหรือผลงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับบทเรียนแล้วถามคำถาม
- กระตุ้นให้มีการถกปัญหาสั้นๆกันในระหว่างกลุ่มผู้เรียน
- ใช้สื่อช่วยสอนนำเข้าสู่บทเรียนด้วยภาพแบบจำลองของตัวอย่างหรือสิ่งที่จะช่วยดึงดูดความสนใจ
- บรรยายเหตุการณ์เล่าเรื่องหรือเล่าปัญหาจากประสบการณ์ ซึ่งจะก่อให้เกิดความต้องการหรือการใช้ความคิดเห็นหรือทักษะที่ผู้สอนกำลังแสดง

2) ขั้นศึกษาข้อมูล (Information) เมื่อผู้เรียนประสบปัญหา มีความต้องการหรือสนใจที่จะแก้ปัญหานั้น แต่ด้วยเหตุที่เป็นปัญหาแปลกใหม่ซึ่งไม่เคยรู้หรือทำได้มาก่อน ย่อม

จะต้องมีการศึกษาข้อมูลและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลหรือเนื้อหาต่าง ๆ เพื่อที่จะได้นำไปใช้ในการแก้ปัญหานั้น

3) ขั้นพยายาม (Application) ข้อมูลข่าวหรือเนื้อหาที่ผู้เรียนได้รับหรือศึกษามาอาจไม่ถูกต้องหรือไม่พอเพียงสำหรับการแก้ปัญหานั้นก็ได้ การศึกษาหรือรับข้อมูลแต่เพียงอย่างเดียวนั้นย่อมยังไม่เกิดการเรียนรู้ ถ้าตราบใดที่ผู้เรียนยังมิได้พยายามนำเอาข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการแก้ปัญหา ดังนั้นผู้เรียนจะต้องพยายามทำเลียนแบบ (Cramming) พยายามฝึกหัด (Exercise) และใช้ข้อมูลนั้นในการแก้ปัญหา (Problem Solving) ขั้นพยายามเป็นขั้นตอนที่มีบทบาทสำคัญต่อขบวนการเรียนรู้ ซึ่งนับเป็นขั้นตอนที่สานต่อเนื่องมาจากขั้นสนใจปัญหาและขั้นศึกษาข้อมูล ขั้นพยายามเป็นขั้นตอนที่จัดขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้มีโอกาสใช้ความรู้หรือทักษะที่ได้รับมาจากขั้นศึกษาข้อมูลมาใช้ในการแก้ปัญหาด้วยการฝึกหัดทำงานจริงหรือทำแบบฝึกหัด ขั้นพยายามเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างจะใช้เวลามากที่สุดในบทเรียนเพราะจะต้องให้เวลาสำหรับผู้เรียนในการประยุกต์ความรู้มาใช้งานด้วยการฝึกหัดในระหว่างการดำเนินการขั้นพยายามนั้นจะต้องให้ผู้เรียนทุกคนได้ลงมือปฏิบัติต่อคำถามหรือปัญหางานที่ให้ โดยที่ผู้สอนจะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุม ดูแล สังเกต และบันทึกพฤติกรรมการทำงานของผู้เรียนตลอดจนคอยแนะนำช่วยเหลือผู้เรียนเมื่อผู้เรียนมีความต้องการ

4) ขั้นสำเร็จผล (Progress) การได้พยายามนำข้อมูลมาใช้แก้ปัญหาย่อมทำให้เกิดผลของการแก้ปัญหา หากข้อมูลที่ศึกษามานั้นมีความถูกต้องและเพียงพอก็ย่อมจะแก้ปัญหานั้นให้สำเร็จลงได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเรียนรู้ขึ้นได้ ถ้าหากแก้ปัญหาไม่สำเร็จก็จะต้องย้อนขั้นตอนของขบวนการเหล่านี้อีกครั้ง ขั้นสำเร็จผลถึงเปรียบเหมือนกับเป็นขั้นตรวจผลงานของผู้เรียนที่ได้จากการฝึกหัดหรือการแก้ปัญหานั่นเอง โดยกิจกรรมการปฏิบัติในขั้นสำเร็จผลจะครอบคลุมกิจกรรมต่อไปนี้

– ประเมินผลการปฏิบัติงานของผู้เรียนหลังขั้นพยายาม โดยเทียบกับวัตถุประสงค์การสอนที่ตั้งไว้
– ดำเนินกิจกรรมโดยตรวจสอบผลงานของผู้เรียนโดยส่วนรวมในชั้นเรียน
– บอกระดับคุณภาพความสำเร็จของผู้เรียน
– ถกปัญหาให้เหตุผลสำหรับข้อผิดพลาดและมุ่งหมายแก้ไขให้มีความสำเร็จผล ดียิ่งขึ้น
– ทำการตรวจปรับในระหว่างขั้นสำเร็จผลบ่อย ๆ

สรุปความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเรียนรู้ – การจัดการสอน ได้ดังนี้

กระบวนการเรียนรู้	การจัดการสอน
ขั้นสนใจปัญหา (Motivation)	นำเข้าสู่บทเรียนด้วยการสร้างจุดสนใจ โดยใช้คำถามและอุปกรณ์ช่วย
ขั้นศึกษาข้อมูล (Information)	ในเนื้อหาสาระบทเรียนด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น บรรยายสาธิตหรือให้นักศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง เพิ่มความเข้าใจให้นักศึกษาด้วยการใช้การตรวจปรับใช้อุปกรณ์ช่วยสอน และวางขั้นตอนในการให้เนื้อหาเป็นลำดับอย่างเหมาะสม จากน้อยไปมาก ง่ายไปยาก และตรงตามวัตถุประสงค์ตามหลักสูตรที่ตั้งไว้
ขั้นการนำข้อมูลมาใช้ (Application)	สร้างแบบคำถาม แบบฝึกหัด หรือให้ใบงานที่บรรจุปัญหา หรือข้อคำถามเกี่ยวกับเนื้อหาที่ได้สอน หรือบางอย่างที่ต้องนำความรู้ที่ได้เรียนมาใช้ ให้นักศึกษาตอบคำถามในใบงานหรือใบทดสอบจนครบ
ขั้นประเมินผล (Progress)	ตอบคำถามทันทีหลังจากให้นักศึกษาปฏิบัติบอกผลสำเร็จแก่นักศึกษาและให้ข้อมูลเพิ่มเติมหากพบว่านักศึกษายังทำแบบฝึกหัดไม่ได้

2.6 หลังจากสอนครบแต่ละหน่วยเรียนแล้ว ครูผู้สอนต้องให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียนอีกครั้ง (ชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียน ; E1) แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลไว้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบก่อนเรียน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและความก้าวหน้าของผู้เรียน

2.7 หลังจากผู้เรียนเรียนจนครบทุกหน่วยเรียนตามแผนการสอนแล้ว ครูผู้สอนต้องให้ผู้เรียน ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (E2) แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลไว้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบระหว่างเรียน (E1) เพื่อวิจัยการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและความก้าวหน้าของผู้เรียน

3. บทบาทผู้เรียน

เนื่องจากแผนการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 นี้เป็นการจัดการเรียนรู้สำหรับให้ครูผู้สอนเป็นผู้ดำเนินการ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของแต่ละหน่วยเรียน ผู้เรียนต้องปฏิบัติกิจกรรมตามบทบาทผู้เรียน ดังนี้

3.1 ก่อนเข้าชั้นเรียนทุกครั้ง ผู้เรียนต้องนำเอกสารประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาสาระประจำหน่วย แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน แบบฝึกหัด ใบปฏิบัติงานและใบมอบหมายงาน ที่ครูแจกให้มาด้วยทุกครั้งและจัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์การเรียนมาให้พร้อม

3.2 ผู้เรียนต้องปฏิบัติกิจกรรมตามคำแนะนำของครูผู้สอนอย่างเคร่งครัด

3.3 ในขั้นตอนการทำกิจกรรมก่อนและหลังเรียน เช่น แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน การทำแบบฝึกหัด การฝึกตามใบปฏิบัติงาน และการฝึกตามใบมอบหมายงานต่างๆ ผู้เรียนต้องพยายามอย่างเต็มความรู้ความสามารถ และปฏิบัติงานด้วยความปลอดภัย

4. การจัดชั้นเรียน

4.1 การสอนภาคทฤษฎี การจัดการเรียนการสอนเป็นแบบบรรยาย และถาม-ตอบ ดังนั้นสภาพการจัดชั้นเรียนต้องจัดให้มีความเหมาะสม สามารถจัดกิจกรรมในการเรียนการสอนให้แก่ผู้เรียนได้อย่างทั่วถึง มีการจัดเตรียมสื่อและโสตทัศนูปกรณ์ตามความเหมาะสม

4.2 การสอนภาคปฏิบัติ จัดการเรียนการสอนแบบสาธิตและมีตัวอย่างประกอบ แล้วให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่มอบหมาย เพื่อให้เกิดทักษะ และเจคติตามจุดประสงค์ของแต่ละใบงาน และผ่านเกณฑ์ตามใบประเมินผลการปฏิบัติงาน

5. การประเมินผลการเรียน

5.1 ประเมินผลจากการทำแบบฝึกหัด และทดสอบท้ายหน่วยเรียน ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนของแต่ละหน่วยเรียน โดยใช้แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน

5.2 ประเมินผลจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนในสัปดาห์แรกและสัปดาห์สุดท้าย

5.3 การปฏิบัติตามใบงานต่างๆ ที่มอบหมาย

5.4 ประเมินผลจากเวลาเรียน ความมีวินัย คุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยการสังเกตพฤติกรรมการเรียนและการปฏิบัติงาน และแทรกหลักของปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

6. แนวปฏิบัติการเข้าเรียน

6.1 การจัดการเรียนรู้ วิชา การออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 จำนวน 3 หน่วยกิต เวลาเรียนทั้งหมด 18 สัปดาห์ ๆ ละ 5 ชั่วโมง รวม 90 ชั่วโมงต่อภาคเรียน นักศึกษาจะต้องมีเวลาเรียนไม่น้อยกว่า 80% ของเวลาเรียนทั้งหมด หรือไม่ต่ำกว่า 72 ชั่วโมง เว้นแต่มีเหตุจำเป็นให้อยู่ในดุลยพินิจของครู ถ้าเวลาเรียนไม่ถึงจะได้ผลการเรียนเป็น ขร (ขาดเรียน) จะต้องลงทะเบียนเรียนใหม่

6.2 การมาสาย หมายถึง มาสายเกินเวลาที่เรียนตามตารางเรียนเกิน 10 นาที

6.3 การมาสาย 3 ครั้ง ให้ถือเป็นการขาดเรียน 1 ครั้ง และให้นับรวมเป็นจำนวนวันที่ขาดเรียนด้วย

6.4 การหนีเรียน หมายถึง การไม่อยู่เรียนหรือไม่ร่วมกิจกรรมในระหว่างเรียนเป็นเวลานานเกิน 30 นาที หรือเข้าเรียนแล้วไม่อยู่เรียน

6.5 การหนีเรียน 1 ครั้ง ให้เปรียบเทียบเท่ากับการขาดเรียน 1 ครั้ง

7. การวัดผล

การวัดผลและประเมินผลในรายวิชา มีคะแนนทั้งหมด 100 คะแนน แบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

7.1 คะแนนการประเมินผลจากแบบทดสอบหลังเรียน รวม 10 คะแนน

7.2 คะแนนการประเมินผลจากแบบฝึกหัด รวม 10 คะแนน

7.3 คะแนนจากการตรวจใบมอบหมายงาน รวม 10 คะแนน

7.4 คะแนนจากการปฏิบัติงาน รวม 70 คะแนน

รวมคะแนนทั้งหมด 100 คะแนน

โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบบัญญัติไตรยางศ์ตามตารางกำหนดน้ำหนักคะแนนหน่วยการเรียนรู้ด้านล่างนี้

ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนนหน่วยการเรียนรู้

หน่วยที่	ชั่วโมง	คะแนน				รวม
		แบบทดสอบหลังเรียน	แบบฝึกหัด	ใบมอบหมายงาน	การปฏิบัติ/จิตพิสัย	
1	5	10	10	10	40	70
2	5	10	10	10	40	70
3	5	10	10	10	40	70
4	15	10	10	10	170	200
5	5	10	10	10	70	100
6	5	10	10	10	70	100
7	5	10	10	10	60	90
8	5	10	10	10	70	100
9	15	10	10	10	180	210
10	1	10	10	10	-	30
11	4	10	10	10	40	70
12	5	10	10	10	40	70
13	10	10	10	10	120	150
14	5	10	10	10	40	70
รวม	**90**	**140**	**140**	**140**	**980**	**1,400**
คิดเป็นร้อยละ		**10**	**10**	**10**	**70**	**100**

สำหรับคะแนนจิตพิสัยจะรวมอยู่ในคะแนนภาคปฏิบัติงาน (ร้อยละ 70) โดยเก็บคะแนนจากแบบประเมินพฤติกรรมผู้เรียนและการสังเกต ดังนี้

4.1 แต่งกายถูกระเบียบ 2 คะแนน

4.2 ตรงต่อเวลา 2 คะแนน

4.3 รักษาความสะอาด 2 คะแนน

4.4 คำนึงความปลอดภัย 2 คะแนน

4.5 ความสนใจใฝ่รู้ 2 คะแนน

8. การประเมินผล

การประเมินผลจะใช้คะแนนที่คิดเป็นร้อยละทั้ง 4 ส่วนมารวมกัน หากส่วนใดไม่ผ่านต้องซ่อมจุดประสงค์นั้น ๆ ก่อนจึงจะประเมินผลการเรียน จากนั้นนำคะแนนไปประเมินผลแบบอิงเกณฑ์ 8 ระดับ ดังนี้

ตารางประเมินระดับผลการเรียน

ระดับผลการเรียน	ความหมาย	ช่วงคะแนนเป็นร้อยละ
4	ผลการเรียนดีเยี่ยม	80 – 100
3.5	ผลการเรียนดีมาก	75 – 79
3	ผลการเรียนดี	70– 74
2.5	ผลการเรียนค่อนข้างดี	65 – 69
2	ผลการเรียนน่าพอใจ	60 – 64
1.5	ผลการเรียนพอใช้	55 – 59
1	ผลการเรียนผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ	50 – 54
0	ผลการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์	0 – 49

หลักสูตรรายวิชา

หลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **ประเภทวิชา** อุตสาหกรรม **สาขาวิชา**ไฟฟ้า **สาขางาน**ไฟฟ้ากำลัง

ชื่อวิชา การออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิช 30104 - 2002** ทฤษฎี 2 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 3

จำนวนชั่วโมงต่อสัปดาห์ 5 ชั่วโมง **รวม** 90 ชั่วโมงต่อภาคเรียน

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการมาตรฐาน การออกแบบระบบไฟฟ้า
2. สามารถคำนวณ กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้า
3. มีกิจนิสัยในการทำงานร่วมกับผู้อื่นด้วยความประณีต รอบคอบ และปลอดภัย

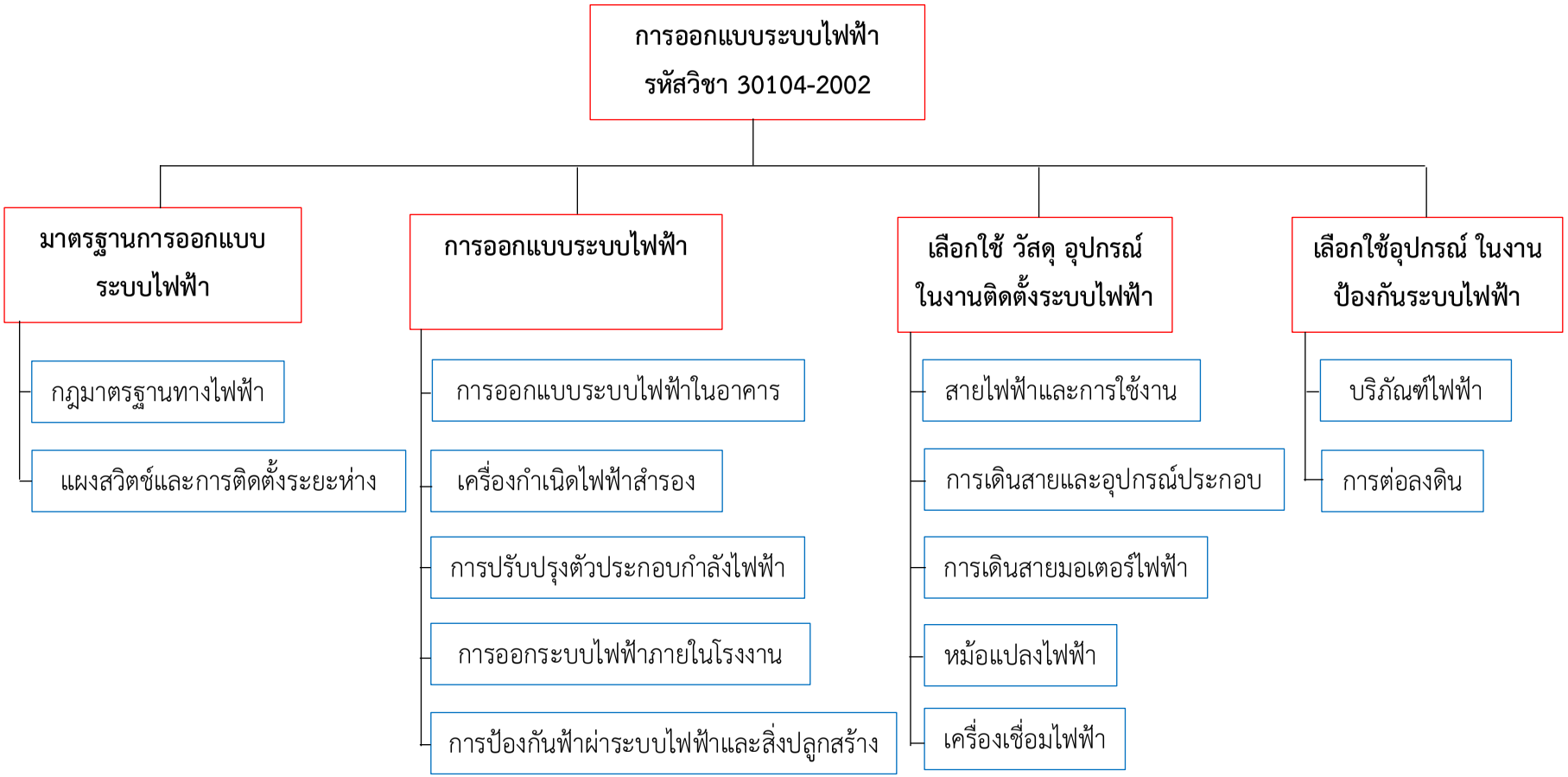
สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับมาตรฐาน การออกแบบระบบไฟฟ้า
2. เลือกใช้ วัสดุ อุปกรณ์ ในงานติดตั้งระบบไฟฟ้า
3. เลือกใช้อุปกรณ์ ในงานป้องกันระบบไฟฟ้า

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับกฎมาตรฐานทางไฟฟ้า บริภัณฑ์ทางไฟฟ้า แผงสวิตช์และการติดตั้ง ระยะห่างในการปฏิบัติงาน สายไฟฟ้าและการใช้งาน การต่อลงดิน ออกแบบระบบไฟฟ้าภายในอาคาร การเดินสายอุปกรณ์ประกอบ การเดินสายมอเตอร์ไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง ระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง

ใบวิเคราะห์ผังสมรรถนะรายวิชา



หน่วยการเรียนรู้

วิชา การออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **จำนวน** 3 หน่วยกิต

ระดับชั้น ปวส. **สาขาวิชา** ช่างไฟฟ้ากำลัง

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการรู้	จำนวนชั่วโมง		สัปดาห์ที่
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ	
1	กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	2	3	1
2	บริภัณฑ์ไฟฟ้า	2	3	2
3	แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง	2	3	3
4	สายไฟฟ้าและการใช้งาน	6	9	4-6
5	การต่อลงดิน	2	3	7
6	การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ	2	3	8
7	การเดินสายมอเตอร์ไฟฟ้า	2	3	9
8	หม้อแปลงไฟฟ้า	2	3	10
9	การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	6	9	11-13
10	เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	1	-	14
11	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	1	3	14
12	การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	2	3	15
13	การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน	4	6	16-17
14	การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง	2	3	18
	รวม	**36**	**54**	
	รวมทั้งสิ้น	**90**		

ตารางวิเคราะห์หลักสูตร

วิชา การออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท-ป-น** 2-3-3

ระดับชั้น ปวส. **สาขาวิชา ไฟฟ้า** **สาขางาน ไฟฟ้ากำลัง**

พฤติกรรมการเรียนรู้ / ชื่อหน่วยการสอน/การเรียนรู้	ด้านพุทธิพิสัย						ด้านทักษะพิสัย (47)	ด้านจิตพิสัย (18)	รวม (100)	ลำดับความสำคัญ	จำนวนชั่วโมง
	ความรู้ (14)	ความเข้าใจ (14)	นำไปใช้ (4)	วิเคราะห์ (3)	สังเคราะห์ (0)	ประเมินค่า (0)					
หน่วยที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	1.0	1.0	-	-	-	-	2	1	5	5	5
หน่วยที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า	1.0	1.0	1.0	-	-	-	3	1	7	3	5
หน่วยที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง	1.0	1.0	-	-	-	-	3	1	6	4	5
หน่วยที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	8	3	15	1	15
หน่วยที่ 5 การต่อลงดิน	1.0	1.0	-	-	-	-	3	1	6	4	5
หน่วยที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ	1.0	1.0	-	-	-	-	3	1	6	4	5
หน่วยที่ 7 การเดินสายมอเตอร์ไฟฟ้า	1.0	1.0	-	-	-	-	3	1	6	4	5
หน่วยที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า	1.0	1.0	-	-	-	-	3	1	6	4	5
หน่วยที่ 9 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	8	3	15	1	15
หน่วยที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	2	7	1
หน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	1.0	1.0	-	-			1	1	4	6	4
หน่วยที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1.0	1.0	-	-			3	1	6	4	5
หน่วยที่ 13 ระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน	1.0	1.0	1.0	1.0			5	2	12	2	10
หน่วยที่ 14 การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง	1.0	1.0	-	-			2	1	5	5	5
รวมคะแนน	**14**	**14**	**4**	**3**	**-**	**-**	**47**	**18**	**100**	**-**	**90**
ลำดับความสำคัญ	**3**	**3**	**4**	**5**	**-**	**-**	**1**	**2**	**-**	**-**	**-**

	ตารางการวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชา **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนชั่วโมงสอน** 5 ชม : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

หน่วยที่	ชื่อหน่วย/หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมง	แหล่งที่มา				
			A	B	C	D	E
1	กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	5					
	1.1 มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า		✓			✓	✓
	1.2 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า		✓	✓		✓	✓
	1.3 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย		✓	✓		✓	✓
	1.4 มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า		✓	✓		✓	✓
2	บริภัณฑ์ไฟฟ้า	5					
	2.2 บริภัณฑ์ไฟฟ้าระบบแรงต่ำ		✓	✓	✓	✓	✓
	2.3 บริภัณฑ์ไฟฟ้าระบบแรงสูง		✓		✓	✓	✓
3	**แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง**	5					
	3.1 แผงสวิตช์และระยะห่าง ระดับแรงดันต่ำ		✓	✓	✓	✓	
	3.2 แผงสวิตช์และระยะห่าง ระดับแรงดันสูง		✓	✓		✓	
4	**สายไฟฟ้าและการใช้งาน**	15					
	4.1 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า		✓	✓		✓	✓
	4.2 สายไฟฟ้าแรงสูง		✓	✓	✓	✓	✓
	4.3 สายไฟฟ้าแรงต่ำ		✓	✓	✓	✓	✓
	4.4 การใช้งานสายไฟฟ้า		✓	✓	✓	✓	✓
5	**การต่อลงดิน**	5					
	5.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า		✓	✓		✓	✓
	5.2 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า		✓	✓	✓	✓	
	5.3 ส่วนประกอบและข้อกำหนดของสายดิน		✓	✓		✓	✓
6	5.4 การวัดความต้านทานของหลักดิน	5	✓	✓		✓	
	การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ						
	6.1 การเดินสายสำหรับระบบแรงต่ำ		✓	✓	✓	✓	✓
	6.2 การเดินสายสำหรับระบบแรงสูง		✓		✓	✓	✓

หน่วยที่	ชื่อหน่วย/หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมง	แหล่งที่มา				
			A	B	C	D	E
7	**มอเตอร์ไฟฟ้า**	5					
	7.1 ชนิดของมอเตอร์		✓	✓		✓	✓
	7.2 พิกัดกระแสมอเตอร์		✓	✓		✓	✓
	7.3 วงจรย่อยมอเตอร์		✓	✓		✓	
	7.4 เครื่องปลดวงจร		✓	✓	✓	✓	
	7.5 วงจรสายป้อนมอเตอร์		✓	✓		✓	
8	**หม้อแปลงไฟฟ้า**	5					
	8.1 ชนิดและข้อกำหนดของหม้อแปลงชนิดต่างๆ		✓	✓		✓	✓
	8.2 ลักษณะเฉพาะของหม้อแปลงไฟฟ้า		✓	✓		✓	✓
	8.3 การกำหนดขนาดพิกัดหม้อแปลง		✓	✓	✓	✓	
	8.4 การป้องกันในกระแสเกิน		✓	✓	✓	✓	
	8.5 การติดตั้งหม้อแปลง		✓	✓	✓	✓	
9	**การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร**	15					
	9.1 วงจรย่อย		✓	✓		✓	✓
	9.2 วงจรสายป้อน		✓	✓		✓	✓
	9.3 วงจรสายประธาน		✓	✓		✓	✓
	9.4 การจัดทำตารางโหลด		✓	✓		✓	
	9.5 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร		✓	✓	✓	✓	
10	**เครื่องเชื่อมไฟฟ้า**	1					
	10.1 วงจรย่อยเครื่องเชื่อม		✓	✓		✓	
	10.2 วงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม		✓	✓		✓	
11	**เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง**	4					
	11.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		✓	✓	✓	✓	
	11.2 พิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		✓	✓	✓	✓	
	11.3 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		✓	✓	✓	✓	✓
	11.4 การติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		✓	✓	✓	✓	✓

หน่วยที่	ชื่อหน่วย/หัวข้อเรื่อง	จำนวนชั่วโมง	แหล่งที่มา				
			A	B	C	D	E
12	**การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า**	5					
	12.1 พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า		✓	✓		✓	
	12.2 การกำหนดขนาดคาปาซิเตอร์		✓	✓	✓	✓	
	12.3 ประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง		✓	✓	✓	✓	
	12.4 ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์		✓		✓	✓	✓
	12.5 การหาขนาดเครื่องป้องกันและสายไฟฟ้า		✓	✓	✓	✓	✓
13	**การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน**	10					
	13.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน		✓	✓		✓	
	13.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม		✓	✓	✓	✓	
	13.3 การหาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง		✓	✓	✓	✓	✓
	13.4 การหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง		✓	✓	✓	✓	✓
14	**การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง**	5					
	14.1 การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้า		✓	✓		✓	✓
	14.2 ระบบการป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง		✓	✓		✓	✓
	14.3 ตัวอย่างการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า		✓		✓	✓	✓

หมายเหตุ A = หลักสูตรรายวิชา B = ประสบการณ์ของผู้สอน
C = สอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ D = จากตำราหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง
E = อินเทอร์เนต (Internet)

หน่วยการเรียนและสมรรถนะประจำหน่วย

ชื่อหน่วย	สมรรถนะ		
	ความรู้	ทักษะ	คุณลักษณะที่พึงประสงค์
หน่วยที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	1. มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า 2. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า 3. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย 4. มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า	1. เลือกใช้บริภัณฑ์ทางไฟฟ้า 2. เลือกใช้สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี
หน่วยที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า	1. บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ 2. บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงสูง	1. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันสำหรับแผงย่อย Load Center 2. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันสำหรับแผงย่อย Consumer Unit	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบคำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง	1. มาตรฐานที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ 2. มาตรฐานที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับระบบแรงสูง	1.ออกแบบพื้นที่ห้องสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ 2.ออกแบบทางเข้าพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี
หน่วยที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน	1. ส่วนประกอบสายไฟฟ้า 2. สายไฟฟ้าแรงต่ำ	1. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตาม มอก.11-2553 2. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตาม มอก.11 เล่ม	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษา

	3. สายไฟฟ้าแรงสูง 4. การใช้งานสายไฟฟ้า	101-2559 3. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตามมาตรฐาน IEC 60502-1	ความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี
หน่วยที่ 5 การต่อลงดิน	1. ระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า 2. ระบบการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า 3. ส่วนประกอบของระบบสายดิน 4. ข้อกำหนดของระบบสายดิน 5. วิธีวัดความต้านทานของหลักดิน	1. เลือกใช้สายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า 2. เลือกใช้สายต่อหลักดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ	1. ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำ 2. ข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำ 3. ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายสำหรับระบบแรงสูง	1. เลือกใช้วัสดุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้า 2. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานติดตั้งระบบไฟฟ้า	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 7 การเดินสายมอเตอร์ไฟฟ้า	1. ชนิดของมอเตอร์ 2. พิกัดกระแสมอเตอร์ 3. วงจรย่อยมอเตอร์ 4. เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ 5. วงจรสายป้อนมอเตอร์	1. เลือกวัสดุ อุปกรณ์ ในวงจรย่อยมอเตอร์ไฟฟ้า 2. เลือกอุปกรณ์ป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า	1. ชนิดและข้อกำหนดของหม้อแปลง 2. ศัพท์เฉพาะของหม้อแปลงไฟฟ้า 3. ข้อกำหนดขนาดพิกัดหม้อแปลง 4. อุปกรณ์ป้องกันในกระแสเกินหม้อแปลง	1. เลือกพิกัดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า 2. เลือกอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย

	5. วิธีการติดตั้งหม้อแปลง		
หน่วยที่ 9 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	1. วงจรย่อย 2. วงจรสายป้อน 3. วงจรสายประธาน 4. วิธีจัดทำตารางโหลด	1. เลือกวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรย่อย 2. เลือกวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรสายป้อน 3. เลือกวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องป้องกันและหน่วยวัดไฟฟ้าสำหรับวงจรสายประธาน	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	1. วงจรย่อยเครื่องเชื่อม 2. วงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม	-	-
หน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	1. ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 2. พิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 3. วิธีขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 4. วิธีติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	1. เลือกพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 2. เลือกขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1. พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 2. กำหนดขนาดคาปาซิเตอร์ 3. ประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง 4. ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ 5. ขนาดเครื่องป้องกันและสายไฟฟ้าวงจรคาปาซิเตอร์	1. ต่อวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 2. เลือกใช้ขนาดคาปาซิเตอร์ให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้า	1. ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน 2. การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงาน	1. เลือกใช้ วัสดุ อุปกรณ์ ในการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ

ภายในโรงงาน	อุตสาหกรรม 3. การหาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง 4. การหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	2. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 3. เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในโรงงานอุตสาหกรรม	คำนึงความปลอดภัย
หน่วยที่ 14 การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง	1. วิธีป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้า 2. วิธีป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง	1. เลือกใช้วัสดุ ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง 2. เลือกใช้อุปกรณ์ ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง	การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า 1.1 มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า 1.1.1 มาตรฐานประจำชาติ 1.1.2 มาตรฐานสากล 1.2 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า 1.2.1 มาตรฐานประจำชาติ 1.2.2 มาตรฐานสากล 1.3 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย 1.3.1 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ .2556 1.3.2 นิยามและข้อกำหนดทั่วไป 1.4 มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า 2. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า 3. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย 4. มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกมาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าประจำชาติได้ 2. บอกมาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าสากลได้ 3. บอกมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าประจำชาติได้ 4. บอกมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสากลได้ 5. บอกมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้ 6. บอกความหมายของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสาหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกต้อง 7. บอกมาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้
ใบปฏิบัติงานที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกใช้มาตรฐานบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า 2. เลือกใช้สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกใช้มาตรฐานบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าได้ถูกต้อง และเหมาะสมกับลักษณะงาน 2. เลือกใช้ชนิดสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก.11-2553 ได้อย่างถูกต้อง 3. เลือกใช้ชนิดสายไฟฟ้าตามตามมาตรฐาน IEC 60502-1 ได้อย่างถูกต้อง 4. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า 2.1 บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ 2.1.1 ฟิวส์ 2.1.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์ 2.1.3 เครื่องตัดกระแสรั่ว 2.2 บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงสูง 2.2.1 ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง 2.2.2 ฟิวส์กำลัง 2.2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ 2. บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงสูง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. อธิบายหลักการทำงานของฟิวส์แรงดันต่ำได้ 2. อธิบายหลักการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำได้ 3. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องตัดกระแสรั่วแรงต่ำได้ 4.บอกพิกัดของฟิวส์แรงดันต่ำได้ถูกต้อง 5.บอกประเภทของของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ถูกต้อง 6.บอกพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำได้ถูกต้อง 7.บอกชนิดของของเครื่องตัดกระแสรั่วได้ถูกต้อง 8. บอกพิกัดของฟิวส์แรงดันสูงได้ 9. บอกชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงได้
ใบปฏิบัติงานที่ 2 การเลือกใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันสำหรับแผงย่อย Load Center 2. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันสำหรับแผงย่อย Consumer Unit **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกใช้งานแผงย่อย Load Center ได้อย่างถูกต้อง 2. เลือกใช้งานแผงย่อยประจำห้องพัก Consumer Unit ได้อย่างถูกต้อง 3. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง 3.1 แผงสวิตช์และระยะห่าง ระดับแรงดันต่ำ 3.1.1 แผงสวิตช์ทางด้านแรงต่ำ 3.1.2 การติดตั้งระยะห่าง 3.2 แผงสวิตช์และระยะห่าง ระดับแรงดันสูง 3.2.1 แผงสวิตช์ทางด้านแรงต่ำ 3.2.2 การติดตั้งระยะห่าง	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. มาตรฐานที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ 2. มาตรฐานที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับระบบแรงสูง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกความหมายของแผงสวิตช์ (Switch board) ได้ 2. บอกส่วนประกอบแผงสวิตช์ (Switch board) ได้ 3. บอกความหมายและชนิดของแผงย่อย (Panel boards) ได้ 4. อธิบายส่วนประกอบแผงย่อย (Panel boards) ได้ถูกต้อง 5. บอกข้อกำหนดการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินแรงต่ำได้ 6. ระบุระยะทางเข้าและที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำได้อย่างถูกต้อง 7. บอกความหมายและชนิดของสวิตช์เกียร์ (Switchgear) ได้ 8. บอกความหมายและส่วนประกอบของหน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน (Ring Main Unit, RMU) ได้ 9. ระบุระยะทางเข้าและที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์แรงสูงได้อย่างถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 3 การกำหนดระยะห่างสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB)	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1.ออกแบบพื้นที่ห้องสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ 2.ออกแบบทางเข้าพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. ออกแบบขนาดห้องสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ ได้ถูกต้อง 2. ออกแบบขนาดทางเข้าพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ได้ถูกต้อง 3. ออกแบบขนาดที่ว่างเหนือพื้นที่เพื่อสำหรับตู้เมนสวิตช์แรงต่ำได้ถูกต้อง 4. ออกแบบปริมาณแสงสว่างสำหรับตู้เมนสวิตช์แรงต่ำได้ถูกต้อง 5. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน 4.1 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า 4.1.1. ตัวนำ 4.1.2 ฉนวน 4.1.2 ฉนวน 4.2 สายไฟฟ้าแรงสูง 4.2.1 สายไฟฟ้าแรงสูงอากาศ 4.2.1 สายไฟฟ้าแรงสูงอากาศ 4.3 สายไฟฟ้าแรงต่ำ 4.3.1 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน PVC 4.3.1 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE 4.3.3 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทนไฟ 4.3.4 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI 4.4 การใช้งานสายไฟฟ้า 4.4.1 องค์ประกอบการเลือกสายไฟฟ้า 4.4.2 การเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลด	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. ส่วนประกอบสายไฟฟ้า 2. สายไฟฟ้าแรงต่ำ 3. สายไฟฟ้าแรงสูง 4. การใช้งานสายไฟฟ้า **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกส่วนประกอบสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2. บอกข้อแตกต่างของตัวนำทองแดงและอลูมิเนียมได้ถูกต้อง 3. บอกลักษณะตัวนำของสายไฟฟ้าได้ 4. เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างฉนวนชนิด PVC และ XLPE ได้ถูกต้อง 5. ระบุขนาดของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 6. อธิบายลักษณะสายไฟฟ้าแรงสูงอากาศสายชนิดเปลือยได้ถูกต้อง 7. อธิบายลักษณะสายไฟฟ้าแรงสูงอากาศสายชนิดหุ้มฉนวนได้อย่างถูกต้อง 8. อธิบายลักษณะโครงสร้างสายเคเบิลแรงสูงใต้ดินได้อย่างถูกต้อง 9. บอกชนิดของสายไฟฟ้าแรงต่ำได้อย่างถูกต้อง 10. บอกข้อกำหนดการใช้งานของสายตัวนำอลูมิเนียมแรงต่ำได้ถูกต้อง 11. อธิบายลักษณะของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง ตามมาตรฐาน มอก. 11-2553 ได้อย่างถูกต้อง 12. ระบุรหัสสีฉนวนของสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง 13. อธิบายลักษณะขนาดของสายตัวนำทองแดง หุ้มฉนวน PVC เล่มที่ 6 ใน มอก. 11- 2559 ได้ถูกต้อง 14. อธิบายลักษณะของสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 ได้ถูกต้อง 15. บอกโครงสร้างของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทนไฟได้ถูกต้อง 16. บอกโครงสร้างของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI ได้ถูกต้อง 17. บอกชื่อตารางที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของสายไฟฟ้าในเล่มมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้ถูกต้อง 18. บอกองค์ประกอบในการเลือกสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง

	19. บอกเหตุผลชนิดของฉนวนที่มีผลต่อพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 20. หาเหตุผลของอุณหภูมิโดยรอบและผลที่ตามมาต่อพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 21. บอกรูปแบบการติดตั้งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้อย่างถูกต้อง 22. หาเหตุผลจำนวนกลุ่มวงจรและผลที่ตามมาต่อพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 23. บอกลำดับขั้นตอนการคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าใช้งานได้อย่างถูกต้อง 24. คำนวณหาอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินได้อย่างถูกต้อง 25. คำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 4 การเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 **ใบปฏิบัติงานที่ 5** การเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11 เล่ม 101-2559 **ใบปฏิบัติงานที่ 6** การเลือกสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตาม มอก.11-2553 2. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตาม มอก.11 เล่ม 101-2559 3. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตามมาตรฐาน IEC 60502-1 **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. คำนวณหากระแสโหลด (I_L) ได้ถูกต้อง 2. กำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (In) ได้ถูกต้อง 3. เลือกชนิดสายไฟฟ้าและกลุ่มการติดตั้งได้ถูกต้อง 4. คำนวณหาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It) ได้ถูกต้อง 5. เลือกขนาดสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 6. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 5 การต่อลงดิน 5.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า 5.1.1 การต่อระบบไฟฟ้าลงดิน 5.1.2 วิธีการต่อระบบไฟฟ้าลงดิน 5.1.3 .การเลือกขนาดสายต่อหลักดิน 5.2 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า 5.2.1 บริภัณฑ์ที่ต้องต่อลงดิน 5.2.2 วิธีการต่อลงดิน 5.3 ส่วนประกอบและข้อกำหนดของสายดิน 5.3.1 ส่วนประกอบของสายดิน 5.3.2 ข้อกำหนดของสายดิน 5.3.3 การต่อลงดินสำหรับอาคารชุด 5.4 การวัดความต้านทานของหลักดิน	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. ระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า 2. ระบบการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า 3. ส่วนประกอบของระบบสายดิน 4. ข้อกำหนดของระบบสายดิน 5. วิธีวัดความต้านทานของหลักดิน **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. อธิบายหลักการต่อระบบไฟฟ้าลงดินได้ถูกอย่างต้อง 2. บอกวิธีการต่อระบบไฟฟ้าลงดินได้ถูกอย่างต้อง 3. ระบุขนาดสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง 4. อธิบายหลักการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง 5. บอกวิธีการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง 6. ระบุขนาดสายต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง 7.บอกส่วนประกอบของสายดินได้ถูกต้อง 8.บอกข้อกำหนดของสายต่อหลักดินดินได้ถูกต้อง 9.บอกวิธีการต่อลงดินสำหรับอาคารชุดได้ถูกต้อง 10. บอกวิธีวัดวัดความต้านทานของหลักดินได้ถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 7 การเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกใช้สายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า 2. เลือกใช้สายต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2. เลือกสายต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกต้อง 3. เลือกสายเส้นที่มีการต่อลงดินที่ใช้เป็นสายดินอย่างเดียวได้ถูกต้อง 4. เลือกสายเส้นที่มีการต่อลงดินที่ใช้เป็นสายวงจรด้วย (สายนิวทรัล) ได้ถูกต้อง 5. เลือกสายต่อฝากประธานได้ถูกต้อง 6. เลือกสายต่อฝากของบริภัณฑ์ได้ถูกต้อง

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ 6.1 การเดินสายสำหรับระบบแรงต่ำ 6.1.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการเดินสาย 6.1.2 ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการเดินสาย 6.2 การเดินสายสำหรับระบบแรงสูง	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำ 2. ข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำ 3. ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายสำหรับระบบแรงสูง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1.บอกความหมายของช่องเดินสายได้ถูกต้อง 2. ระบุระยะความลึกในการติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดินได้ถูกต้อง 3. บอกการป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำได้ถูกต้อง 4. บอกความหมายของการเดินสายควบได้ถูกต้อง 5. บอกข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 6. ระบุขนาดท่อร้อยสายได้อย่างถูกต้อง 7.บอกข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายการเดินสายในรางเดินสาย ได้ถูกต้อง 8.บอกข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายการเดินสายในการเดินสายในรางเคเบิลได้ถูกต้อง 9. ระบุขนาดการเดินสายในรางเคเบิลได้อย่างถูกต้อง 10. บอกข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายไฟฟ้าแรงสูงได้ถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 8 การเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกใช้ขนาดช่องเดินสายไฟฟ้า 2. เลือกใช้ขนาดรางเดินสายไฟฟ้า **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกขนาดท่อโลหะให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ 2. เลือกขนาดท่ออโลหะแข็งให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ 3. เลือกขนาดช่องเดินสายบนพื้นผิวให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ 4. เลือกขนาดรางเดินสาย (wireway) ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ 5. เลือกขนาดรางเคเบิลให้เหมาะสมกับการใช้งานได้

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 7 มอเตอร์ไฟฟ้า 7.1 ชนิดของมอเตอร์ 7.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7.1.2 มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ 7.1.3 มอเตอร์ซิงโครนัส 7.2 พิกัดกระแสมอเตอร์ 7.3 วงจรย่อยมอเตอร์ 7.3.1 สายวงจรย่อยมอเตอร์ 7.3.2. เครื่องป้องกันโหลดเกิน 7.3.3. เครื่องควบคุมมอเตอร์ 7.3.4. เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร 7.4 เครื่องปลดวงจร 7.4.1 พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร 7.4.2 ตำแหน่งติดตั้ง 7.5.3 เครื่องปลดวงจรใช้ตัวเดียวกับเครื่องควบคุม 7.5 วงจรสายป้อนมอเตอร์ 7.5.1 วงจรที่มีมอเตอร์หลายเครื่อง 7.5.2 วงจรมอเตอร์ที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. ชนิดของมอเตอร์ 2. พิกัดกระแสมอเตอร์ 3. วงจรย่อยมอเตอร์ 4. เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ 5. วงจรสายป้อนมอเตอร์ **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง 2. ระบุพิกัดกระแสมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 3. บอกส่วนประกอบวงจรย่อยมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 4. ระบุขนาดสายไฟฟ้าวงจรย่อยมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 5. ระบุกระแสปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกินมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 6. บอกความหมายและข้อพิจารณาการเลือกขนาดเครื่องควบคุมมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 7. ระบุพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 8. บอกความหมายและข้อกำหนดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปลดวงจรมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 9. บอกขนาดพิกัดกระแสของสายป้อนได้อย่างถูกต้อง 10. บอกขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อนได้อย่างถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 9 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกวัสดุ อุปกรณ์ ในวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า 2. เลือกอุปกรณ์ป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าในวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2. เลือกขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกินมอเตอร์ได้ถูกต้อง 3. เลือกขนาดพิกัดเครื่องควบคุมมอเตอร์ได้ถูกต้อง 4. เลือกขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ได้ถูกต้อง

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า 8.1 ชนิดและข้อกำหนดของหม้อแปลง 8.1.1 หม้อแปลงชนิดแห้ง 8.1.2 หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ 8.1.3 หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก 8.1.4 หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ 8.2 ศัพท์เฉพาะของหม้อแปลงไฟฟ้า 8.2.1 ค่าทนแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ 8.2.2 แทปแยกแรงดัน 8.2.3 กำลังสูญเสีย 8.2.4 แรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ 8.2.5 เวคเตอร์กรุ๊ป 8.3 การกำหนดขนาดพิกัดหม้อแปลง 8.4 การป้องกันในกระแสเกิน 8.4.1 การป้องกันกระแสเกินด้านแรงสูง 8.4.2 การป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำ 8.4.3 การต่อลงดิน 8.5 การติดตั้งหม้อแปลง 8.5.1 การติดตั้งภายในอาคาร 8.5.2 การติดตั้งภายนอกอาคาร	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. ชนิดและข้อกำหนดของหม้อแปลง 2. ลักษณะเฉพาะของหม้อแปลงไฟฟ้า 3. ข้อกำหนดขนาดพิกัดหม้อแปลง 4. อุปกรณ์ป้องกันในกระแสเกินหม้อแปลง 5. วิธีการติดตั้งหม้อแปลง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกชนิดและข้อกำหนดการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง 2. บอกความหมายค่าทนแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของหม้อแปลงได้ถูกต้อง 3. อธิบายแทปแยกแรงดันของหม้อแปลงได้ถูกต้อง 4. อธิบายกำลังสูญเสียในหม้อแปลงได้ถูกต้อง 5. อธิบายค่าแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์หม้อแปลงได้ถูกต้อง 6. อธิบายเวคเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลงได้ถูกต้อง 7. บอกขนาดพิกัดของหม้อแปลงได้อย่างถูกต้อง 8. กำหนดขนาดเครื่องป้องกันในกระแสเกินหม้อแปลงได้ถูกต้อง 9. บอกข้อกำหนดของการติดตั้งหม้อแปลงภายในอาคารได้ถูกต้อง 10. บอกข้อกำหนดของการติดตั้งหม้อแปลงภายนอกอาคารได้ถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 10 การเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกพิกัดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า 2. เลือกอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า 3. เลือกอุปกรณ์ประกอบติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกพิกัดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าได้ถูกต้อง 2. เลือกขนาดอุปกรณ์ป้องกันแรงสูงและแรงต่ำได้ถูกต้อง 3. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำได้ถูกต้อง 4. เลือกชนิดและขนาดสายดินของหม้อแปลงได้ถูกต้อง 5. เลือกชนิดและขนาดอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหม้อแปลงได้ถูกต้อง

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 9 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร 9.1 วงจรย่อย 9.1.1 โหลดของวงจรย่อย 9.1.2 การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย 9.1.3 การหาขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อย 9.2 วงจรสายป้อน 9.2.1 การหาโหลดของสายป้อน 9.2.2 การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน 9.2.3 การหาขนาดสายไฟฟ้าของสายป้อน 9.3 วงจรสายประธาน 9.3.1 วงจรสายเมนระบบแรงต่ำ 9.3.2 วงจรสายเมนระบบแรงสูง 9.4 การจัดทำตารางโหลด 9.4.1 ประโยชน์การจัดทำตารางโหลด 9.4.2 วิธีจัดทำตารางโหลด	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. วงจรย่อย 2. วงจรสายป้อน 3. วงจรสายประธาน 4. วิธีจัดทำตารางโหลด **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกค่าโหลดไฟฟ้าแสงสว่างวงจรย่อยได้ถูกต้อง 2. บอกค่าโหลดเต้ารับวงจรย่อยได้ถูกต้อง 3. บอกค่าโหลดเครื่องทำน้ำอุ่นวงจรย่อยได้ถูกต้อง 4. บอกค่าโหลดเครื่องปรับอากาศวงจรย่อยได้ถูกต้อง 5. บอกวิธีการหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยได้ถูกต้อง 6. จำแนกพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยได้ถูกต้อง 7. ระบุขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยได้ถูกต้อง 8. บอกข้อกำหนดการหาขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อย ได้ถูกต้อง 9. ระบุขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อยได้ถูกต้อง 10. อธิบายการหาโหลดของวงจรสายป้อนได้ถูกต้อง 11. บอกวิธีการหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อนได้ถูกต้อง 12. อธิบายการหาขนาดสายไฟฟ้าของสายป้อนได้ถูกต้อง 13. เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างการคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท.และการคำนวณโหลดโดยการรวมวงจรย่อยได้ถูกต้อง

	14. บอกความหมายของวงจรประธานแรงต่ำได้อย่างถูกต้อง 15. อธิบายการหาขนาดวงจรประธานระบบแรงต่ำได้ถูกต้อง 16. หาความสัมพันธ์ในการกำหนดขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง 17. บอกความหมายของวงจรประธานแรงสูงได้อย่างถูกต้อง 18. อธิบายการหาขนาดวงจรประธานระบบแรงสูงได้ถูกต้อง 19. บอกประโยชน์การจัดทำตารางโหลดได้ 20. บอกวิธีจัดทำตารางโหลดได้ถูกต้อง 21. คำนวณออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารได้ถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 11 การออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย **ใบปฏิบัติงานที่ 12** การออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารสำนักงาน **ใบปฏิบัติงานที่ 13** การออกแบบระบบไฟฟ้าอพาร์ทเม้นท์	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรย่อย 2. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรสายป้อน 3. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์เครื่องป้องกันและหน่วยวัดไฟฟ้าสำหรับวงจรสายประธาน **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกกลุ่มการติดตั้งได้อย่างถูกต้องเหมาะสม 2. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 3. เลือกชนิดและขนาดสายดินได้ถูกต้อง 4. เลือกชนิดและขนาดช่องเดินสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง 5. เลือกชนิดและขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินได้ถูกต้อง 6. เลือกหน่วยวัดไฟฟ้าสำหรับวงจรสายประธานได้ถูกต้อง

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า 10.1 วงจรย่อยเครื่องเชื่อม 10.1.1 ขนาดสายเครื่องเชื่อม 10.1.2 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน 10.1.3 ขนาดเครื่องปลดวงจร 10.2 วงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม 10.2.1 ขนาดสายป้อนเครื่องเชื่อม 10.2.2 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. วงจรย่อยเครื่องเชื่อม 2. วงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. ระบุรอบการทำงานของเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง 2. ระบุขนาดสายวงจรย่อยเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง 3. บอกขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง 4. บอกข้อกำหนดการหาขนาดพิกัดเครื่องปลดวงจรย่อยเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง 5. บอกข้อกำหนดการหาขนาดสายป้อนเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง 6. บอกข้อกำหนดการขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินสายป้อนเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 11.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11.1.1 เครื่องต้นกำลัง 11.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11.1.3 สวิตช์สับเปลี่ยน 11.2 พิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11.2.1 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11.2.2 ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11.3 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11.3.1 แบบใช้มือ 11.3.2 แบบอัตโนมัติ 11.4 การติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11.4.1 สถานที่ติดตั้ง 11.4.2 ฐานติดตั้ง 11.4.3 การระบายอากาศ 11.4.4 เสียงรบกวน	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 2. พิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 3. วิธีขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 4. วิธีติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกส่วนประกอบของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ 2. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ 3. บอกลักษณะการใช้งานสวิตช์สับเปลี่ยน (ATS) ในชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกต้อง 4. ระบุพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง 5. บอกข้อกำหนดการหาขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง 6. บอกสาเหตุการเกิดแรงดันตกวูบ (Voltage Dip) ได้อย่างถูกต้อง 7. อธิบายความสัมพันธ์ของค่า Voltage Dip ต่อ Starting kVA ได้อย่างถูกต้อง 8. คำนวณหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้อย่างถูกต้อง 9. บอกวิธีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง 10. บอกวิธีติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 14 การเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 2. เลือกขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองใช้งานได้อย่างถูกต้อง 2. เลือกชนิดและขนาดสวิตช์สับเปลี่ยนได้อย่างเหมาะสม 3. เลือกสถานที่ติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกต้อง

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 12.1 พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 12.1.1 กำลังไฟฟา 12.1.2 นิยามตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 12.1.3 หลักการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 12.2 การกำหนดขนาดคาปาซิเตอร์ 12.3 ประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง 12.4 ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ 12.5 การหาขนาดเครื่องป้องกันและสายไฟฟ้า 12.5.1 เครื่องป้องกันกระแสเกิน 12.5.2 ขนาดสายไฟฟ้า 12.5.3 เครื่องปลดวงจร	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 2. กำหนดขนาดคาปาซิเตอร์ 3. ประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง 4. ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ 5. ขนาดเครื่องป้องกันและสายไฟฟ้าวงจรคาปาซิเตอร์ **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกต้อง 2. บอกความหมายของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง 3. อธิบายหลักการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง 4. คำนวณหาขนาดของคาปาซิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 5. บอกประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ 6. คำนวณหากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ถูกต้อง 7. คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ถูกต้อง 8. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลือหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ถูกต้อง 9. บอกตำแหน่งและข้อดีข้อเสียของการติดตั้งคาปาซิเตอร์ในแต่ละตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง 10. คำนวณหาขนาดตัวคาปาซิเตอร์สำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ได้ถูกต้อง 11.บอกส่วนประกอบของชุดควบคุมตัวประกอบกำลังอัตโนมัติได้ถูกต้อง 12. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ (PFC) ได้ถูกต้อง

	13. คำนวณหาค่าปรับตั้งความไวและขนาดคาปาซิเตอร์ในแต่ละขั้นของเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติได้ถูกต้อง 14. บอกขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน เครื่องปลดวงจร และขนาดสายไฟฟ้าในวงจรคาปาซิเตอร์ได้ถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 15 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. ต่อวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 2. เลือกใช้ขนาดคาปาซิเตอร์ให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. กำหนดหาขนาดคาปาซิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง 2. ต่อวงจรคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง 3. เลือกใช้คาปาซิเตอร์ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน 13.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน 13.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม 13.2.1 หาขนาดและกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้า 13.2.2 การหาขนาดวงจรย่อยและสายป้อน 13.2.3 การหาขนาดวงจรสายประธาน 13.3 การหาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง 13.4 การหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน 2. การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม 3. การหาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง 4. การหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานได้ 2. ระบุขนาดค่าโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานได้ถูกต้อง 3. ออกแบบขนาดวงจรย่อยได้อย่างถูกต้อง 4. ออกแบบขนาดวงจรสายป้อนได้อย่างถูกต้อง 5. ออกแบบขนาดวงจรสายประธานได้อย่างถูกต้อง 6. กำหนดขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานได้อย่างถูกต้อง 7. กำหนดขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองของโรงงานได้อย่างเหมาะสม 8. ออกแบบระบบบไฟฟ้าภายในโรงงานได้
ใบปฏิบัติงานที่ 16 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก **ใบปฏิบัติงานที่ 17** การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. ออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม 2. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 3. เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในโรงงานอุตสาหกรรม **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. ออกแบบวงจรย่อย สายป้อน และสายประธานได้ 2. กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ และอุปกรณ์ป้องได้ถูกต้อง 3. จัดทำตารางโหลด และแผนภาพเส้นเดียวได้ถูกต้อง 4. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ 5. เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในโรงงานอุตสาหกรรมได้

	การวิเคราะห์สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน **ชื่อวิชา** วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท.ป.น.** 2-3-5 **จำนวนคาบสอน** 5 ชม. : สัปดาห์ **ระดับชั้น** ปวส.

ชื่อเรื่อง	สมรรถนะย่อยและจุดประสงค์การสอน
หน่วยที่ 14 การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง 14.1 การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้า 14.1.1 การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าในระบบแรงสูง 14.1.2 การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าในระบบแรงต่ำ 14.2 ระบบการป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง 14.2.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า 14.2.2 วัสดุประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** แสดงความรู้เกี่ยวกับ 1. วิธีป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้า 2. วิธีป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านความรู้ 1. บอกความหมายของการป้องกันฟ้าผ่าได้อย่างถูกต้อง 2. บอกข้อกำหนดการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าในระบบแรงสูง ได้ถูกต้อง 3. บอกพิกัดกับดักฟ้าผ่าและกำหนดขนาดสายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าได้ถูกต้อง 4. บอกหลักการป้องกันฟ้าผ่าในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้อย่างถูกต้อง 5. บอกความหมายและส่วนประกอบของการป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างได้ถูกต้อง 6. บอกลักษณะและหน้าที่ของตัวนำล่อฟ้าได้อย่างถูกต้อง 7. อธิบายการจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าได้อย่างถูกต้อง 8. อธิบายมุมป้องกัน (α°) ของระบบตัวนำล่อฟ้า ได้ถูกต้อง 9. อธิบายรัศมีป้องกัน (r) ของระบบตัวนำล่อฟ้าได้ถูกต้อง 10. อธิบายตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่ายได้ถูกต้อง 11. บอกลักษณะการติดตั้งและหน้าที่ของตัวนำลงดินได้ถูกต้อง 12. บอกความหมายของระบบรากสายดินได้ถูกต้อง 13. ระบุคุณสมบัติของวัสดุประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าได้ถูกต้อง
ใบปฏิบัติงานที่ 18 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง	**สมรรถนะย่อย (Element of Competency)** 1. เลือกใช้วัสดุ ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง 2. เลือกใช้อุปกรณ์ ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง **จุดประสงค์การสอน (Performance Objectives)** ด้านทักษะ 1. เลือกใช้วัสดุในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างได้อย่างเหมาะสม 2. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างได้อย่างเหมาะสม 3. เลือกวิธีป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างได้อย่างเหมาะสม

ตารางวิเคราะห์หลักสูตรด้านพุทธิพิสัย

เพื่อสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ จำนวน 100 ข้อ

วิชา การออกแบบระบบไฟฟ้า **รหัสวิชา** 30104-2002 **ท-ป-น** 2-3-3

ระดับชั้น ปวส. **สาขาวิชา ไฟฟ้า** **สาขางาน ไฟฟ้ากำลัง**

พฤติกรรมการเรียนรู้ / ชื่อหน่วยการสอน/การเรียนรู้	ด้านพุทธิพิสัย						ด้านทักษะพิสัย	ด้านจิตพิสัย	รวม	ลำดับความสำคัญ	จำนวนชั่วโมง
	ความรู้	ความเข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมินค่า					
หน่วยที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	3	3	-	-	-	-	-	-	6	4	5
หน่วยที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า	3	3	3	-	-	-	-	-	9	3	5
หน่วยที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง	3	3	-	-	-	-	-	-	6	4	5
หน่วยที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน	3	3	3	2	-	-	-	-	11	1	15
หน่วยที่ 5 การต่อลงดิน	3	3	-	-	-	-	-	-	6	4	5
หน่วยที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ	3	3	-	-	-	-	-	-	6	4	5
หน่วยที่ 7 การเดินสายมอเตอร์ไฟฟ้า	3	3	-	-	-	-	-	-	6	4	5
หน่วยที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า	3	3	-	-	-	-	-	-	6	4	5
หน่วยที่ 9 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	3	3	2	2	-	-	-	-	10	2	15
หน่วยที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	3	3	-	-	-	-	-	-	6	4	1
หน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	3	3	-	-			-	-	6	4	4
หน่วยที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	3	3	-	-			-	-	6	4	5
หน่วยที่ 13 ระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน	3	3	2	2			-	-	10	2	10
หน่วยที่ 14 การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง	3	3	-	-			-	-	6	4	5
รวมจำนวนแบบทดสอบ (ข้อ)	**42**	**42**	**10**	**6**	**-**	**-**	**-**	**-**	**100**	**-**	**90**
ลำดับความสำคัญ	**1**	**1**	**2**	**3**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 1

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 1/18
	ชื่อหน่วย : กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า		จำนวน 5 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

การออกแบบระบบไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีกฎมาตรฐานทางไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อใช้สำหรับอ้างอิง มาตรฐานทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า และมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า โดยแต่ละมาตรฐานก็ยังแบ่งออกได้อีก 2 มาตรฐานคือ มาตรฐานประจำชาติ และมาตรฐานสากล สำหรับประเทศไทยนั้น สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ร่วมมือกับการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้จัดทำมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยขึ้นเพื่อให้ทั้งประเทศมีมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าไปทิศทางเดียวกัน

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า
2. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า
3. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย
4. มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2.2 สมรรถนะย่อย

5. เขียนสัญลักษณ์บริภัณฑ์ทางไฟฟ้า
6. เลือกใช้สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกมาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าประจำชาติได้
2. บอกมาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าสากลได้
3. บอกมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าประจำชาติได้
4. บอกมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสากลได้
5. บอกมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ได้
6. บอกความหมายของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสาหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกต้อง
7. มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้

3.2 ด้านทักษะ

8. เลือกใช้มาตรฐานบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าได้ถูกต้อง และเหมาะสมกับลักษณะงาน
9. เลือกใช้ชนิดสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก.11-2553 ได้อย่างถูกต้อง
10. เลือกใช้ชนิดสายไฟฟ้าตามตามมาตรฐาน IEC 60502-1 ได้อย่างถูกต้อง 3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงปะสงค์

11. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

1.มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า

2. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า

3. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

4 .มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห่อหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า

(ตามเอกสารประกอบการสอนหน่วยที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า
3. ใบปฏิบัติงานที่ 1 และแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. ใบมอบหมายงานที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า
5. สื่อของจริง
   - 4.1 ตัวอย่างสายไฟฟ้าตาม มอก 11- 2559 จำนวน 1 ชุด
   - 4.2 Miniature Circuit Breaker 1 Pole จำนวน 1 ตัว
   - 4.3 เต้ารับและเต้าเสียบ จำนวน 2 อัน
   - 4.4 โคมไฟฟ้าพร้อมหลอดไฟฟ้า จำนวน 1 ชุด
6. เครื่องขยายเสียง
7. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ปฐมนิเทศ (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูชี้แจงรายละเอียดของหลักสูตรรายวิชา วิธีการวัดและประเมินผลการเรียน แนวทางในการเรียนการสอน	1. นักศึกษาฟังครูชี้แจงและตอบคำถาม มีส่วนร่วมวัดผลประเมินผล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า มีความสำคัญอย่างไรกับการติดตั้งระบบไฟฟ้า”	1. นักศึกษาตอบคำถามที่ครูถามหรือซักถามข้อสงสัย
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 1	2. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 1

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 1 เรื่อง กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 1 เรื่อง กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 1	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 1
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 1	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 1 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 1 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 1

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 1 เรื่องกฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	1. นักศึกษารับใบงานที่ 1
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูพูดอธิบาย แสดงสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 1	1. นักศึกษารับฟัง ดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 1
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 1 เรื่อง กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 1 เรื่องกฎมาตรฐานทางไฟฟ้า
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 1 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 1 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 1 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 1 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 1 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 1 เรื่อง กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 1 เป็นการบ้าน พร้อมปฏิบัติส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

กฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 1 รวม 40 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน และใบมอบหมายงานที่ 1 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในหน่วยเรียนนี้ 70 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 2

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2/18
	ชื่อหน่วย : บริภัณฑ์ไฟฟ้า	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : บริภัณฑ์ไฟฟ้า		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

บริภัณฑ์ไฟฟ้ามีอยู่มากมายหลายชนิดทำหน้าที่แตกต่างกันไป ในการออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องทราบคุณสมบัติต่างๆของบริภัณฑ์ไฟฟ้าเพื่อให้สามารถเลือกใช้บริภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม บริภัณฑ์ไฟฟ้าในที่นี้จะกล่าวถึงส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องป้องกันทางไฟฟ้า ซึ่งมีความจำเป็นและสำคัญในการออกแบบฯ โดยระบบไฟฟ้าที่ดีมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีระบบป้องกันทางไฟฟ้าที่ดีด้วยเช่นกัน เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดพลาดหรือเกิดความผิดปกติใดๆ ในวงจรไฟฟ้า จะต้องป้องกันหรือลดความเสียหายให้มีน้อยที่สุด การปลดวงจรต้องมีไฟฟ้าดับน้อยที่สุดและข้อสำคัญในการออกแบบต้องให้ประหยัดด้วย โดยทั่วไปเครื่องป้องกันทางไฟฟ้ามีการป้องกันอยู่ 3 รูปแบบ คือ ป้องกันการลัดวงจร ป้องกันกระแสไหลเกิน และป้องกันกระแสรั่ว ซึ่งเครื่องป้องกันแต่ละแบบจะต้องมีมาตรฐานและผ่านการทดสอบจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้วย เครื่องป้องกันแบ่งตามพิกัดแรงดันได้ 2 ระดับได้แก่ เครื่องป้องกันกระแสเกินแรงต่ำ และเครื่องป้องกันกระแสเกินแรงสูง

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ
2. บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงสูง

2.2 สมรรถนะ

3. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันสำหรับแผงย่อย Load Center
4. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันสำหรับแผงย่อย Consumer Unit

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. อธิบายหลักการทำงานของฟิวส์แรงดันต่ำได้
2. อธิบายหลักการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำได้
3. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องตัดกระแสรั่วแรงต่ำได้
4. บอกพิกัดของฟิวส์แรงดันต่ำได้ถูกต้อง
5. บอกประเภทของของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ถูกต้อง
6. บอกพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำได้ถูกต้อง

7.บอกชนิดของของเครื่องตัดกระแสรั่วได้ถูกต้อง

8. บอกพิกัดของฟิวส์แรงดันสูงได้

9. บอกชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงได้

3.2 ด้านทักษะ

10. เลือกใช้งานแผงย่อย Load Center ได้อย่างถูกต้อง

11. เลือกใช้งานแผงย่อยประจำห้องพัก Consumer Unit ได้อย่างถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงปะสงค์

12. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รอบคอบ คำนึงความปลอดภัย

4.เนื้อหาสาระ

4.1 บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ

4.1.1 ฟิวส์

4.1.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์

4.1.3 เครื่องตัดกระแสรั่ว

4.2 บริภัณฑ์ไฟฟ้าด้านแรงสูง

4.2.1 ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง

4.2.2 ฟิวส์กำลัง

4.2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์

(ตามเอกสารประกอบการสอนหน่วยที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียนที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า
3. ใบปฏิบัติงานที่ 2 การเลือกใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit และแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. ใบมอบหมายงานที่ 2 การใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit
5. สื่อของจริง

5.1 คาร์ทริดจ์ฟิวส์แรงต่ำ ประเภท D / Do	จำนวน 1 ชุด
4.2 คาร์ทริดจ์ฟิวส์แรงต่ำประเภท gL/gG ชนิด HRC	จำนวน 1 ชุด
5.3 ตู้ Load Center	จำนวน 1 ชุด
5.4 ตู้ Consumer Unit	จำนวน 1 ชุด

5.5 Miniature Circuit Breaker 1 Pole จำนวน 1 ตัว

5.6 Earth leakage Circuit Breaker (ELCB) จำนวน 1 ตัว

5.7 Miniature Circuit Breaker 3 Pole จำนวน 1 ตัว

5.8 Miniature Circuit Breaker 4 Pole จำนวน 1 ตัว

5.9 Mold Case Circuit Breaker , MCCB จำนวน 1 ตัว

5.10 Air Circuit Breaker , ACB จำนวน 1 ตัว

5.11 Residual Current Device, RCD จำนวน 1 ตัว

5.12 dropout fuse cutout จำนวน 1 ชุด

5.13 ไส้ฟิวส์ (fuse link) ตามมาตรฐาน ANSI-NEMA จำนวน 1 ชุด

5.14 Power fuse จำนวน 1 ชุด

6. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
7. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “บริภัณฑ์ไฟฟ้าทางไฟฟ้า มีความสำคัญอย่างไรกับการติดตั้งระบบไฟฟ้า”	1. นักศึกษาตอบคำถามที่ครูถามหรือซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 2	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 2

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในหน่วยเรียนที่ 2 เรื่อง บริภัณฑ์ทางไฟฟ้า โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม
2. ครูสรุปเนื้อหาในหน่วยเรียนที่ 2 เรื่อง บริภัณฑ์ไฟฟ้า	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 2	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 2
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 2	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 2 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 2 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 2

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 2 เรื่องการเลือกใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit	1. นักศึกษารับใบงานที่ 2
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 2	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 2
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 2 เรื่อง การเลือกใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 2 เรื่องการเลือกใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 2 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 2 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 2 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 2 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 2 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10 ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 2 เรื่อง การใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 2 การใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit เป็นการบ้าน พร้อมปฏิบัติส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 2 รวม 40 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน และใบมอบหมายงานที่ 2 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในหน่วยเรียนนี้ 70 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 2 บริภัณฑ์ทางไฟฟ้า ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 3

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 3/18
	ชื่อหน่วย : แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การติดตั้งแผงสวิตช์ จะต้องมีการจัดระยะห่างและมีที่ว่างไว้เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานกับแผงสวิตช์ดังกล่าวได้อย่างเพียงพอ มีทางเข้าเพื่อไปปฏิบัติงานได้โดยสะดวก รวดเร็วและปลอดภัย รวมถึงการซ่อมบำรุงรักษาแผงสวิตช์ด้วย การติดตั้งระยะห่างต้องเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานนี้ห้ามใช้สำหรับเก็บของโดยเด็ดขาด การติดตั้งแผงสวิตช์สามารถแบ่งตามระดับแรงดันได้ 2 ระดับคือแรงดันต่ำและแรงดันสูง แผงสวิตช์ในระดับแรงดันต่ำที่นิยมใช้เช่น แผงสวิตช์ แผงย่อย และแผงสวิตช์ในระดับแรงดันสูงเช่น สวิตช์เกียร์ หน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน เป็นต้น

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. มาตรฐานที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ
2. มาตรฐานที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับระบบแรงสูง

2.2 สมรรถนะ

3. ออกแบบพื้นที่ห้องสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ
4. ออกแบบพื้นที่ห้องสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงสูง

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกความหมายของแผงสวิตช์ (Switch board) ได้
2. บอกส่วนประกอบแผงสวิตช์ (Switch board) ได้
3. บอกความหมายและชนิดของแผงย่อย (Panel boards) ได้
4. อธิบายส่วนประกอบแผงย่อย (Panel boards) ได้ถูกต้อง
5. บอกข้อกำหนดการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินแรงต่ำได้
6. ระบุระยะทางเข้าและที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำได้อย่างถูกต้อง
7. บอกความหมายและชนิดของสวิตช์เกียร์ (Switchgear) ได้
8. บอกความหมายและส่วนประกอบของหน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน (Ring Main Unit, RMU) ได้
9. ระบุระยะทางเข้าและที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์แรงสูงได้อย่างถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

10. ออกแบบขนาดห้องสำหรับแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ ได้ถูกต้อง
11. ออกแบบขนาดทางเข้าพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ได้ถูกต้อง
12. ออกแบบขนาดที่ว่างเหนือพื้นที่เพื่อสำหรับตู้เมนสวิตช์แรงต่ำได้ถูกต้อง
13. ออกแบบปริมาณแสงสว่างสำหรับตู้เมนสวิตช์แรงต่ำได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

14. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 แผงสวิตช์และระยะห่าง ระดับแรงดันต่ำ

4.1.1 แผงสวิตช์ทางด้านแรงต่ำ

4.1.2 การติดตั้งระยะห่าง

4.2 แผงสวิตช์และระยะห่าง ระดับแรงดันสูง

4.2.1 แผงสวิตช์ทางด้านแรงต่ำ

4.2.2 การติดตั้งระยะห่าง

(ตามหนังสือประกอบการสอนหน่วยที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง
3. ใบปฏิบัติงานที่ 3 การกำหนดระยะห่างสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB) และแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง
   - 4.1 คาร์ทริดจ์ฟิวส์แรงต่ำ ประเภท D / Do จำนวน 1 ชุด
   - 4.2 คาร์ทริดจ์ฟิวส์แรงต่ำประเภท gL/gG ชนิด HRC จำนวน 1 ชุด
   - 4.3 ตู้ Load Center จำนวน 1 ชุด
   - 4.4 ตู้ Consumer Unit จำนวน 1 ชุด
   - 4.5 Miniature Circuit Breaker 1 Pole จำนวน 1 ตัว
   - 4.6 Earth leakage Circuit Breaker (ELCB) จำนวน 1 ตัว
   - 4.7 Miniature Circuit Breaker 3 Pole จำนวน 1 ตัว
   - 4.8 Miniature Circuit Breaker 4 Pole จำนวน 1 ตัว
   - 4.9 Mold Case Circuit Breaker , MCCB จำนวน 1 ตัว
   - 4.10 Air Circuit Breaker , ACB จำนวน 1 ตัว
   - 4.11 Residual Current Device, RCD จำนวน 1 ตัว
   - 4.12 dropout fuse cutout จำนวน 1 ชุด
   - 4.13 ไส้ฟิวส์ (fuse link) ตามมาตรฐาน ANSI-NEMA จำนวน 1 ชุด
   - 4.14 Power fuse จำนวน 1 ชุด
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 2 เรื่อง การใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 2 เรื่อง การใช้งานตู้ Load Center และ Consumer Unit พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วม ตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “การติดตั้งแผงสวิตช์กับระยะห่าง มีความสัมพันธ์อย่างไรและเกี่ยวข้องกับมาตรฐานใดบ้าง ”	1. นักศึกษาตอบคำถามที่ครูถามหรือซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 3	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 3

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในหน่วยเรียนที่ 3 เรื่อง แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม
2. ครูสรุปเนื้อหาในหน่วยเรียนที่ 3 เรื่อง แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 3	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 3
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 3	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 3 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 3 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 3

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 3 เรื่องการกำหนดระยะห่างสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB)	1. นักศึกษารับใบงานที่ 3 เรื่องการกำหนดระยะห่างสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB)
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 3	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 3
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 2 เรื่องการกำหนดระยะห่างสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB)	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 2 เรื่องการกำหนดระยะห่างสำหรับแผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB)
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 3 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 3 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 3 เสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 3 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 3 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 3 เรื่อง แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 3 เรื่อง แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง เป็นการบ้าน พร้อมปฏิบัติส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 3 รวม 40 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน และใบมอบหมายงานที่ 3 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในหน่วยเรียนนี้ 70 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 3 เรื่องแผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564.

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

10. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

11. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ
.....	.....
.....	.....
ลงชื่อ	ลงชื่อ .....
(นายภาสกร ศรีขาว)	(นายคารมย์ แก้วกันยา)

ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ

.....

ลงชื่อ .....

(นายสุวิชา มั่นยืน)

รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 4

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 4/18
	ชื่อหน่วย : สายไฟฟ้าและการใช้งาน	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : สายไฟฟ้าและการใช้งาน		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

สายไฟฟ้ามีหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ ปัจจุบันมีผู้ผลิตสายไฟฟ้าขึ้นมามากมายหลายชนิด คุณสมบัติต้องเป็นไปตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด โดยสายไฟฟ้าเป็นมาตรฐานบังคับ สังเกตจากตราสัญลักษณ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 11-2553 (ฉบับล่าสุด) ใช้อนุกรมมาตรฐาน IEC 60227 เป็นมาตรฐานอ้างอิง แบ่งเป็น 6 เล่ม ซึ่งเล่มที่ 6 (เล่ม 101-2553) ได้มีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเป็นเล่มที่ 6 (เล่ม 101-2559) เพื่อแก้ปัญหาให้มีตัวนำขนาดเล็กสำหรับงานกลุ่มติดตั้งเดินร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง การใช้มาตรฐานอื่นต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ ก่อน สำหรับในการเลือกใช้งานจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแส ทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งขณะใช้งานและขณะเกิดการลัดวงจรเป็นต้น รวมไปถึงความประหยัดปลอดภัย และความน่าเชื่อถือได้ โดยยึดมาตรฐานการติดตั้งมาตรฐานทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 เป็นหลัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. ส่วนประกอบสายไฟฟ้า
2. สายไฟฟ้าแรงต่ำ
3. สายไฟฟ้าแรงสูง
4. การใช้งานสายไฟฟ้า

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกส่วนประกอบสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
2. บอกข้อแตกต่างของตัวนำทองแดงและอลูมิเนียมได้ถูกต้อง
3. บอกลักษณะตัวนำของสายไฟฟ้าได้
4. เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างฉนวนชนิด PVC และ XLPE ได้ถูกต้อง
5. ระบุขนาดของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
6. อธิบายลักษณะสายไฟฟ้าแรงสูงอากาศสายชนิดเปลือยได้ถูกต้อง
7. อธิบายลักษณะสายไฟฟ้าแรงสูงอากาศสายชนิดหุ้มฉนวนได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายลักษณะโครงสร้างสายเคเบิลแรงสูงใต้ดินได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชนิดของสายไฟฟ้าแรงต่ำได้อย่างถูกต้อง

10. บอกข้อกำหนดการใช้งานของสายตัวนำอลูมิเนียมแรงต่ำได้ถูกต้อง
11. อธิบายลักษณะของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง ตามมาตรฐาน มอก. 11- 2553 ได้อย่างถูกต้อง
12. ระบุรหัสสีฉนวนของสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง
13. อธิบายลักษณะขนาดของสายตัวนำทองแดง หุ้มฉนวน PVC เล่มที่ 6 ใน มอก. 11- 2559 ได้ถูกต้อง
14. อธิบายลักษณะของสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 ได้ถูกต้อง
15. บอกโครงสร้างของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทนไฟได้ถูกต้อง
16. บอกโครงสร้างของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI ได้ถูกต้อง
17. บอกชื่อตารางที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของสายไฟฟ้าในเล่มมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ได้ถูกต้อง
18. บอกองค์ประกอบในการเลือกสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
19. บอกเหตุผลชนิดของฉนวนที่มีผลต่อพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
20. หาเหตุผลของอุณหภูมิโดยรอบและผลที่ตามมาต่อพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
21. บอกรูปแบบการติดตั้งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ได้อย่างถูกต้อง
22. หาเหตุผลจำนวนกลุ่มวงจรและผลที่ตามมาต่อพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
23. บอกลำดับขั้นตอนการคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าใช้งานได้อย่างถูกต้อง
24. คำนวณหาอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินได้อย่างถูกต้อง
25. คำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ (ยังไม่ฝึกปฏิบัติ)

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (อยู่ในภาคฝึกปฏิบัติ)

4.เนื้อหาสาระ

4.1 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า

4.1.1. ตัวนำ

4.1.2 ฉนวน

4.1.2 ฉนวน

4.2 สายไฟฟ้าแรงสูง

4.2.1 สายไฟฟ้าแรงสูงอากาศ

4.2.1 สายไฟฟ้าแรงสูงอากาศ

4.3 สายไฟฟ้าแรงต่ำ

4.3.1 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน PVC

4.3.1 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE

4.3.3 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทนไฟ

4.3.4 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI

4.4 การใช้งานสายไฟฟ้า

4.4.1 องค์ประกอบการเลือกสายไฟฟ้า

4.4.2 การเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลด

(ตามเอกสารประกอบการสอนหน่วยที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียนที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน
3. สื่อของจริง

   (รหัสชนิดสายเคเบิลไฟฟ้ามาตรฐาน มอก.11-2553)

   1. 60227 IEC 01 จำนวน 1 อัน
   2. 60227 IEC 02 จำนวน 1 อัน
   3. 60227 IEC 05 จำนวน 1 อัน
   4. 60227 IEC 06 จำนวน 1 อัน
   5. 60227 IEC 07 จำนวน 1 อัน
   6. 60227 IEC 08 จำนวน 1 อัน
   7. 60227 IEC 10 จำนวน 1 อัน
   8. 60227 IEC 43 จำนวน 1 อัน
   9. 60227 IEC 52 จำนวน 1 อัน
   10. 60227 IEC 53 จำนวน 1 อัน
   11. 60227 IEC 57 จำนวน 1 อัน

   (รหัสชนิดสายเคเบิลไฟฟ้ามาตรฐาน มอก.11-2559)

   12. VAF จำนวน 1 อัน
   13. VAF - G จำนวน 1 อัน
   14. VCT จำนวน 1 อัน
   15. VCT- G จำนวน 1 อัน
   16. NYY จำนวน 1 อัน
   17. NYY - G จำนวน 1 อัน

   (รหัสชนิดสายไฟฟ้ามาตรฐานอื่น)

   18. สายอลูมิเนียม (สายไฟฟ้ามาตรฐาน มอก.293-2541) จำนวน 1 อัน
   19. XLPE หรือสาย CV (สายไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60502-1) จำนวน 1 อัน
   20. FRC–XLPE/LSHF (สายไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60502-1) จำนวน 1 อัน
   21. แผงบอร์ดตัวอย่างสายไฟฟ้าของ BKK (สายแรงสูง) จำนวน 1 แผง
   22. แผงบอร์ดตัวอย่างสายไฟฟ้าของ CTW (สายแรงสูง) จำนวน 1 แผง
4. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
5. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 5 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 3 เรื่องแผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 2 เรื่องแผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วม ตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “การเลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างไรกับการออกแบบระบบไฟฟ้า”	1. นักศึกษาตอบคำถามที่ครูถามหรือซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูล (2 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาตามหัวข้อในหน่วยเรียนที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ โดยวางกรอบเวลาไว้ดังนี้ - หัวข้อสายไฟฟ้า และองค์ประกอบการเลือกสายไฟฟ้า (1 ชม.) - หัวข้อการเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลด (1 ชม.)	1. นักศึกษาฟังและจดบันทึกเนื้อหาตามหัวข้อในหน่วยเรียนที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน และตอบคำถาม - หัวข้อสายไฟฟ้า และองค์ประกอบการเลือกสายไฟฟ้า (1 ชม.) - หัวข้อการเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลด (1 ชม.)
2. ครูสรุปเนื้อหาในหน่วยเรียนที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายาม (2 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 4	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 4
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผล (40 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 4	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 4 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 4 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 3
4. บันทึกหลังสอน	4. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งที่ 4 นี้ 20 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

-ไม่มี-

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกแบบระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 5

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 5/18
	ชื่อหน่วย : สายไฟฟ้าและการใช้งาน	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : สายไฟฟ้าและการใช้งาน		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

สายไฟฟ้ามีหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ ปัจจุบันมีผู้ผลิตสายไฟฟ้าขึ้นมามากมายหลายชนิด คุณสมบัติต้องเป็นไปตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด โดยสายไฟฟ้าเป็นมาตรฐานบังคับ สังเกตจากตราสัญลักษณ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 11-2553 (ฉบับล่าสุด) ใช้อนุกรมมาตรฐาน IEC 60227 เป็นมาตรฐานอ้างอิง แบ่งเป็น 6 เล่ม ซึ่งเล่มที่ 6 (เล่ม 101-2553) ได้มีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเป็นเล่มที่ 6 (เล่ม 101-2559) เพื่อแก้ปัญหาให้มีตัวนำขนาดเล็กสำหรับงานกลุ่มติดตั้งเดินร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง การใช้มาตรฐานอื่นต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ ก่อน สำหรับในการเลือกใช้งานจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแส ทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งขณะใช้งานและขณะเกิดการลัดวงจรเป็นต้น รวมไปถึงความประหยัดปลอดภัย และความน่าเชื่อถือได้ โดยยึดมาตรฐานการติดตั้งมาตรฐานทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 เป็นหลัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

สมรรถนะ

1. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตาม มอก.11-2553
2. เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตาม มอก.11 เล่ม 101-2559

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้ (จัดการเรียนการสอนในครั้งที่ 4 เรียบร้อยแล้ว)

3.2 ด้านทักษะ (ใบปฏิบัติงานที่ 4 และ 5)

1. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันการแสเกินได้อย่างถูกต้อง
2. เลือกกลุ่มการติดตั้งได้เหมาะกับลักษณะงานเดินสายไฟฟ้า
3. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 ใช้งานได้อย่างถูกต้อง
4. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าตาม มอก.11 เล่ม 101-2559 ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

5. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 องค์ประกอบการเลือกสายไฟฟ้า

4.2 การเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลด

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002
   โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. ใบปฏิบัติงานที่ 4 การเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
3. ใบปฏิบัติงานที่ 5 การเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2559 พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง

   (รหัสชนิดสายเคเบิลไฟฟ้ามาตรฐาน มอก.11-2553)

   1. 60227 IEC 01 จำนวน 1 อัน
   2. 60227 IEC 02 จำนวน 1 อัน
   3. 60227 IEC 05 จำนวน 1 อัน
   4. 60227 IEC 06 จำนวน 1 อัน
   5. 60227 IEC 07 จำนวน 1 อัน
   6. 60227 IEC 08 จำนวน 1 อัน
   7. 60227 IEC 10 จำนวน 1 อัน
   8. 60227 IEC 43 จำนวน 1 อัน
   9. 60227 IEC 52 จำนวน 1 อัน
   10. 60227 IEC 53 จำนวน 1 อัน
   11. 60227 IEC 57 จำนวน 1 อัน

   (รหัสชนิดสายเคเบิลไฟฟ้ามาตรฐาน มอก.11-2559)

   12. VAF จำนวน 1 อัน
   13. VAF - G จำนวน 1 อัน
   14. VCT จำนวน 1 อัน
   15. VCT- G จำนวน 1 อัน
   16. NYY จำนวน 1 อัน
   17. NYY - G จำนวน 1 อัน

   (รหัสชนิดสายไฟฟ้ามาตรฐานอื่น)

   18. สายอลูมิเนียม (สายไฟฟ้ามาตรฐาน มอก.293-2541) จำนวน 1 อัน
   19. XLPE หรือสาย CV (สายไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60502-1) จำนวน 1 อัน

20. FRC–XLPE/LSHF (สายไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60502-1) จำนวน 1 อัน
21. แผงบอร์ดตัวอย่างสายไฟฟ้าของ BKK (สายแรงสูง) จำนวน 1 แผง
22. แผงบอร์ดตัวอย่างสายไฟฟ้าของ CTW (สายแรงสูง) จำนวน 1 แผง

5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ปฏิบัติ 5 ชั่วโมง)

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 4 (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 4 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553	1. นักศึกษารับใบงานที่ 3 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

2. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 4 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 4	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

3. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 4 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 4 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 4 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 4 เสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

4. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 4 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

5. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 5 (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 5 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก. 11 เล่ม 101-2559	1. นักศึกษารับใบงานที่ 5 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11 เล่ม 101-2559
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

6. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 5 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 5	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 5
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

7. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 5 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11 เล่ม 101-2559	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 5 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตาม มอก.11 เล่ม 101-2559
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 5 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 5 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 5 เสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

8. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 5 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 5 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป
3. ครูบันทึกหลังสอน	3. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

การประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีสังเกตพฤติกรรม ถาม-ตอบ และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 4 จำนวน 60 คะแนน และใบงานที่ 5 รวม 60 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 120 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

-ไม่มี-

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ
.....	.....
.....	.....
ลงชื่อ	ลงชื่อ .....
(นายภาสกร ศรีขาว)	(นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 6

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 6/18
	ชื่อหน่วย : สายไฟฟ้าและการใช้งาน	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : สายไฟฟ้าและการใช้งาน		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

สายไฟฟ้ามีหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ ปัจจุบันมีผู้ผลิตสายไฟฟ้าขึ้นมามากมายหลายชนิด คุณสมบัติต้องเป็นไปตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด โดยสายไฟฟ้าเป็นมาตรฐานบังคับ สังเกตจากตราสัญลักษณ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 11-2553 (ฉบับล่าสุด) ใช้อนุกรมมาตรฐาน IEC 60227 เป็นมาตรฐานอ้างอิง แบ่งเป็น 6 เล่ม ซึ่งเล่มที่ 6 (เล่ม 101-2553) ได้มีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเป็นเล่มที่ 6 (เล่ม 101-2559) เพื่อแก้ปัญหาให้มีตัวนำขนาดเล็กสำหรับงานกลุ่มติดตั้งเดินร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง การใช้มาตรฐานอื่นต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ ก่อน สำหรับในการเลือกใช้งานจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแส ทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งขณะใช้งานและขณะเกิดการลัดวงจรเป็นต้น รวมไปถึงความประหยัดปลอดภัย และความน่าเชื่อถือได้ โดยยึดมาตรฐานการติดตั้งมาตรฐานทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 เป็นหลัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

สมรรถนะย่อย เลือกสายไฟฟ้าใช้งานตามมาตรฐาน IEC 60502-1

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้ (จัดการเรียนการสอนในครั้งที่ 4 เรียบร้อยแล้ว)

3.2 ด้านทักษะ (ใบปฏิบัติงานที่ 6)

1. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันการแสเกินได้อย่างถูกต้อง
2. เลือกกลุ่มการติดตั้งได้เหมาะกับลักษณะงานเดินสายไฟฟ้า
3. เลือกสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1 ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

4. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 องค์ประกอบการเลือกสายไฟฟ้า

4.2 การเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลด

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. ใบปฏิบัติงานที่ 6 การเลือกสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1 พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
3. ใบมอบหมายงานที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน
4. สื่อของจริง
   1. XLPE หรือสาย CV (สายไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60502-1) จำนวน 1 ชุด
   2. FRC–XLPE/LSHF (สายไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60502-1) จำนวน 1 ชุด
   3. แผงบอร์ดตัวอย่างสายไฟฟ้าของ BKK จำนวน 1 แผง
   4. แผงบอร์ดตัวอย่างสายไฟฟ้าของ CTW จำนวน 1 แผง
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ปฏิบัติ 5 ชั่วโมง)

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 6 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 6 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1	1. นักศึกษารับใบงานที่ 6 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

2. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 6 (20 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 6	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

3. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 6 เรื่อง การเลือกสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 6 เรื่องการเลือกสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 6 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 6 เสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

4. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (1 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 6 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (50 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 6 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

6. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน ส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

วิชาการประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้สังเกติพฤติกรรม วิธีถาม-ตอบ และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 6 รวม 50 คะแนน

3. หลังเรียนตามใบมอบหมายงานที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 60 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 4 เรื่อง สายไฟฟ้าและการใช้งาน

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 7

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 7/18
	ชื่อหน่วย : การต่อลงดิน	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การต่อลงดิน		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การต่อลงดินมีจุดประสงค์อยู่ 2 ประการ คือเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับบุคคลที่บังเอิญไปสัมผัสกับส่วนที่เป็นโลหะหรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มีแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากกระแสรั่วไหลหรือการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดลัดวงจรลงดิน นอกจากนั้นการต่อลงดินที่ถูกต้องจะช่วยให้การทำงานของเครื่องป้องกันกระแสเกินต่าง ๆ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย การต่อลงดินเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า และการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือหลักดิน สายต่อหลักดิน สายเส้นที่มีการต่อลงดิน สายต่อฝาก และสายดินของบริภัณฑ์

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. ระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
2. ระบบการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
3. ส่วนประกอบของระบบสายดิน
4. ข้อกำหนดของระบบสายดิน
5. วิธีวัดความต้านทานของหลักดิน

2.2 สมรรถนะประจำหน่วย

6. เลือกใช้สายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า
7. เลือกใช้สายต่อหลักดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. อธิบายหลักการต่อระบบไฟฟ้าลงดินได้ถูกอย่างต้อง
2. บอกวิธีการต่อระบบไฟฟ้าลงดินได้ถูกอย่างต้อง
3. ระบุขนาดสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง
4. อธิบายหลักการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง

5. บอกวิธีการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง

6. ระบุขนาดสายต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกอย่างต้อง

7.บอกส่วนประกอบของสายดินได้ถูกต้อง

8.บอกข้อกำหนดของสายต่อหลักดินดินได้ถูกต้อง

9.บอกวิธีการต่อลงดินสำหรับอาคารชุดได้ถูกต้อง

10. บอกวิธีวัดวัดความต้านทานของหลักดินได้ถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

11. เลือกใช้ชนิดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าได้ถูกต้อง

12. เลือกใช้ขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าได้ถูกต้อง

13. เลือกใช้ชนิดสายต่อหลักดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกต้อง

14. เลือกใช้ขนาดสายต่อหลักดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

15. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

4.1.1 การต่อระบบไฟฟ้าลงดิน

4.1.2 วิธีการต่อระบบไฟฟ้าลงดิน

4.1.3 .การเลือกขนาดสายต่อหลักดิน

4.2 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

4.2.1 บริภัณฑ์ที่ต้องต่อลงดิน

4.2.2 วิธีการต่อลงดิน

4.3 ส่วนประกอบและข้อกำหนดของสายดิน

4.3.1 ส่วนประกอบของสายดิน

4.3.2 ข้อกำหนดของสายดิน

4.3.3 การต่อลงดินสำหรับอาคารชุด

4.4 การวัดความต้านทานของหลักดิน

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 5 การต่อลงดิน)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียนที่ 5 การต่อลงดิน
3. ใบปฏิบัติงานที่ 7 การเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง
   - 4.1 แท่งหลักดินเหล็กหุ้มหุ้มขนาด 3/8 นิ้ว ยาว 2.4 เมตร จำนวน 1 ชุด
   - 4.2 ชุดเบ้าหล่อพร้อมผงเชื่อม จำนวน 1 ชุด
   - 4.3 แคล้มยึดรูปหัวใจ จำนวน 1 ชุด
   - 4.4 แคล้มชนิดสองหัวน็อต จำนวน 1 ชุด
   - 4.5 สายดินเขียวคาดเหลือง จำนวน 1 เส้น
   - 4.6 แท่งหลักดินเหล็กหุ้มสังกะสี ขนาด 3/8 นิ้ว ยาว 2.4 เมตร จำนวน 1 ตัว
   - 4.7 แท่งหลักดินรูปสามเหลี่ยมการไฟฟ้าฯ ยาว 2.4 เมตร จำนวน 1 ตัว
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “สายดินมีประโยชน์และมีความสำคัญอย่างไรกับการติดตั้งระบบไฟฟ้า”	1. นักศึกษาตอบคำถามที่ครูถามหรือซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 5	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 5

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 5 เรื่อง การต่อลงดิน โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบาย และตอบคำถาม
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 5 เรื่อง การต่อลงดิน	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบาย และตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 5	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 5
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 5	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 5 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียน บทเรียนที่ 5 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 5

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 7 เรื่องการเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	1. นักศึกษารับใบงานที่ 7 เรื่องการเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 7 การเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7 การเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 7 เรื่อง การเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 7 เรื่องการเลือกสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 7 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 7 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 2 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 5 เรื่อง การต่อลงดิน โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 5 เรื่องการต่อลงดิน เป็นการบ้าน ส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 7 จำนวน 70 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน และใบมอบหมายงานที่ 3 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 100 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 5 เรื่องการต่อลงดิน ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 8

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 8/18
	ชื่อหน่วย : การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การเดินสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบ มีวิธีและข้อกำหนดการใช้งานมากมายที่แตกต่างกันออกไป ในการเลือกไปใช้งานจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงรายละเอียดของแต่ละวิธี เพื่อให้การออกแบบและการใช้งานมีความปลอดภัย ตรงตามมาตรฐาน สำหรับในการเดินสายตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย แบ่งวิธีการเดินสายไฟฟ้าออกเป็น 7 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 5-47 โดยแต่ละกลุ่มมีข้อกำหนดในรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไป เช่น การเดินสายเปิดหรือเดินลอย บนวัสดุฉนวน การเดินสายในท่อร้อยสาย การเดินสายในรางเคเบิล (Cable Trays) เป็นต้น รวมถึงการติดตั้งบัสเวย์หรือบัสดัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำ
2. ข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำ
3. ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายสำหรับระบบแรงสูง

2.1 สมรรถนะ

4. เลือกใช้วัสดุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้า
5. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานติดตั้งระบบไฟฟ้า

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1.บอกความหมายของช่องเดินสายได้ถูกต้อง

2. ระบุระยะความลึกในการติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดินได้ถูกต้อง

3. บอกการป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำได้ถูกต้อง

4. บอกความหมายของการเดินสายควบได้ถูกต้อง

5. บอกข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง

6. ระบุขนาดท่อร้อยสายได้อย่างถูกต้อง

7.บอกข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายการเดินสายในรางเดินสายได้ถูกต้อง

8.บอกข้อกำหนดเฉพาะของการเดินสายการเดินสายในการเดินสายในรางเคเบิลได้ถูกต้อง

9. ระบุขนาดการเดินสายในรางเคเบิลได้อย่างถูกต้อง

10. บอกข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายไฟฟ้าแรงสูงได้ถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

11. เลือกกลุ่มการติดตั้งได้เหมาะสมกับการใช้งาน

12. เลือกใช้วัสดุประกอบการเดินสายได้ถูกต้อง

13. เลือกใช้อุปกรณ์ประกอบการเดินสายได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

14. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 การเดินสายสำหรับระบบแรงต่ำ

4.1.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการเดินสาย

4.1.2 ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการเดินสาย

4.2 การเดินสายสำหรับระบบแรงสูง

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ
3. ใบปฏิบัติงานที่ 8 การเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. ใบหมอบหมายงานที่ 8 เรื่อง การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ
5. สื่อของจริง

4.1 ท่อโลหะบาง	จำนวน 1 ท่อน
4.2 ท่อโลหะหนาปานกลาง	จำนวน 1 ท่อน
4.3 ท่อโลหะหนา	จำนวน 1 ท่อน
4.4 ข้อต่อ (coupling)	จำนวน 1 ชุด
4.5 ข้อต่อยึด (connector)	จำนวน 1 ชุด
4.6 สลักเกลียว (bolt)	จำนวน 1 ชุด
4.7 สแตรป (strap)	จำนวน 1 ชุด
4.8 สกรู (screw)	จำนวน 1 ชุด
4.9 กล่องดึงสาย (Pull Boxes) หรือกล่องต่อสาย	จำนวน 1 ชุด
4.10 ล็อกนัต	จำนวน 1 ชุด
4.11 บุชชิง	จำนวน 1 ชุด
14.12 ท่อโลหะอ่อน	จำนวน 1 ท่อน
14.13 ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว	จำนวน 1 ท่อน
14.14 ท่อ PVC	จำนวน 1 ท่อน
14.15 ท่อ PE หรือ HDPE	จำนวน 1 ท่อน
14.16 ท่ออโลหะอ่อนกันของเหลว	จำนวน 1 ท่อน

14.17 ช่องเดินสายโลหะบนพื้นผิว จำนวน 1 ท่อน

14.18 ช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิว จำนวน 1 ท่อน

14.19 รางเดินสาย (wireway) จำนวน 1 ท่อน

14.20 บัสเวย์ (Busways) หรือบัสดัก (Bus Duct) จำนวน 1 ท่อน

14.21รางเคเบิลแบบบันได มี/ไม่มีฝาปิด จำนวน 1 ท่อน

14.22 รางเคเบิลแบบระบบอากาศ มี/ไม่มีฝาปิด จำนวน 1 ท่อน

14.23 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ มี/ไม่มีฝาปิด จำนวน 1 ท่อน

6. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
7. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 5 การต่อลงดิน บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 5 การต่อลงดิน พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “วิธีการเดินสายไฟฟ้าออกเป็นกี่แบบ แต่ละแบบมีลักษณะพิเศษอย่างไรบ้าง ” และนำสื่อของจริงมาตั้งคำถาม	1. นักศึกษา 2-3 คนตอบคำถามที่ครูถามหรือซักถามข้อสงสัยจากสื่อของจริงที่ครูนำมาเป็นตัวอย่าง
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 6	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 6

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 6 เรื่อง การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม เรื่องการเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 6 เรื่อง การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 6	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 6
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 6	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 6 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 6 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 6

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 8 เรื่องการเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย	1. นักศึกษารับใบงานที่ 8 เรื่องการเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 8 การเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 การเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 8 เรื่องการเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 8 เรื่องการเลือกขนาดช่องเดินสายและรางเดินสาย
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 8 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 8 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 8 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 6 เรื่อง การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบโดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 6 เรื่องการเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ เป็นการบ้าน ส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

วิชาการประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 8 จำนวน 70 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน และใบมอบหมายงานที่ 6 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 100 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 6 เรื่อง การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 9

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 9/18
	ชื่อหน่วย : มอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : มอเตอร์ไฟฟ้า		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

มอเตอร์ไฟฟ้ามีข้อแตกต่างไปจากโหลดแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เนื่องจากช่วงมอเตอร์เริ่มเดิน (starting) จะต้องใช้กระแสเริ่มเดินมากกว่ากระแสพิกัดประมาณ 6 เท่า และในวงจรมอเตอร์ปกติจะมีเครื่องป้องกันโหลดเกิน (over load protection) ติดตั้งอยู่ในวงจรมอเตอร์แต่ละตัวอยู่แล้ว ดังนั้นการกำหนดขนาดสายไฟฟ้าและการเลือกพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรมอเตอร์นั้น จึงต้องแตกต่างกันออกไป สำหรับประเทศไทยได้ยึดเอาตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า “ มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และเครื่องควบคุม ” เป็นหลักในการออกแบบและติดตั้ง การเดินสายวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าในที่นี้ จะกล่าวถึงมอเตอร์แรงต่ำใช้งานทั่วไปเท่านั้น มอเตอร์ที่ออกแบบมาใช้งานเฉพาะอย่างอาจมีข้อกำหนดเพิ่มเติมอีก ซึ่งต้องดูในเรื่องนั้น ๆ เป็นการเฉพาะ

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. ชนิดของมอเตอร์
2. พิกัดกระแสมอเตอร์
3. วงจรย่อยมอเตอร์
4. เครื่องปลดวงจรมอเตอร์
5. วงจรสายป้อนมอเตอร์

2.2 สมรรถนะ

6. เลือกวัสดุ อุปกรณ์ ในวงจรย่อยมอเตอร์ไฟฟ้า
7. เลือกอุปกรณ์ป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง
2. ระบุพิกัดกระแสมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
3. บอกส่วนประกอบวงจรย่อยมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
4. ระบุขนาดสายไฟฟ้าวงจรย่อยมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
5. ระบุกระแสปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกินมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

6. บอกความหมายและข้อพิจารณาการเลือกขนาดเครื่องควบคุมมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

7. ระบุพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

8. บอกความหมายและข้อกำหนดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปลดวงจรมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

9. บอกขนาดพิกัดกระแสของสายป้อน และขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อน ได้อย่างถูกต้อง

10. บอกขนาดพิกัดกระแสของสายป้อน และขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อน ได้อย่างถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

11. เลือกขนาดสายไฟฟ้าในวงจรย่อยมอเตอร์ไฟฟ้าได้ถูกต้อง

12. เลือกขนาดเครื่องป้องกันโหลดเกินมอเตอร์ได้ถูกต้อง

13. เลือกขนาดพิกัดเครื่องควบคุมมอเตอร์ได้ถูกต้อง

14. เลือกขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

15. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 ชนิดของมอเตอร์

4.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

4.1.2 มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ

4.1.3 มอเตอร์ซิงโครนัส

4.2 พิกัดกระแสมอเตอร์

4.3 วงจรย่อยมอเตอร์

4.3.1 สายวงจรย่อยมอเตอร์

4.3.2. เครื่องป้องกันโหลดเกิน

4.3.3. เครื่องควบคุมมอเตอร์

4.3.4. เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร

4.4 เครื่องปลดวงจร

4.4.1 พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร

4.4.2 ตำแหน่งติดตั้ง

4.5.3 เครื่องปลดวงจรใช้ตัวเดียวกับเครื่องควบคุม

4.5 วงจรสายป้อนมอเตอร์

4.5.1 วงจรที่มีมอเตอร์หลายเครื่อง

4.5.2 วงจรมอเตอร์ที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย

(ตามหนังสือประกอบการสอนหน่วยที่ 7 มอเตอร์ไฟฟ้า)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 7 มอเตอร์ไฟฟ้า
3. ใบปฏิบัติงานที่ 9 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง

   4.1 มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ชนิด 1 เฟส จำนวน 1 ตัว

   4.2 มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ชนิด 3 เฟส จำนวน 1 ตัว

   4.2 ตู้ความคุมมอเตอร์ เริ่มเดินแบบ star-delta จำนวน 1 ตู้

   4.3 คอนแทกเตอร์ (Contactor) AC–1, AC–3, AC–4 จำนวน 1 ชุด

   4.4 เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดติดตั้งแยก จำนวน 1 ตัว

   4.5 เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดติดตั้งภายใน จำนวน 1 ตัว

   4.6 ฟิวส์ชนิดหน่วงเวลา เช่น aM Fuse จำนวน 1 ตัว

   4.7 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน จำนวน 1 ตัว
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “ วงจรย่อยมอเตอร์ทั่วไป มีส่วนประกอบอะไรบ้าง” และนำสื่อของจริงมาตั้งคำถาม	1. นักศึกษา 2-3 คนตอบคำถามที่ครูถามและซักถามข้อสงสัยจากสื่อของจริงที่ครูนำมาเป็นตัวอย่าง
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 7	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 7

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 7 เรื่อง มอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบาย และตอบคำถาม เรื่องมอเตอร์ไฟฟ้า
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 7 เรื่อง มอเตอร์ไฟฟ้า	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบาย และตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 7	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 7
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 7	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 7 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียน บทเรียนที่ 7 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 7

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 9 เรื่องการเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า	1. นักศึกษารับใบงานที่ 9 เรื่องการเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 9 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 9 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 9 เรื่อง การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 9 เรื่องการเลือกวัสดุและอุปกรณ์ ในงานป้องกันวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 9 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 9 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 9 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 9 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 9 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 7 เรื่อง มอเตอร์ไฟฟ้า โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 7 เรื่อง มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นการบ้านส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 9 รวม 60 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน และใบมอบหมายงานที่ 7 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 90 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 7 เรื่อง มอเตอร์ไฟฟ้า ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสการ ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 10

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 10/18
	ชื่อหน่วย : หม้อแปลงไฟฟ้า	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : หม้อแปลงไฟฟ้า		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าหลักในระบบส่งกำลังไฟฟ้า จากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรโดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปกติจะใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าแรงสูง และไฟฟ้าแรงต่ำ กำลังไฟฟ้าที่ส่งไปใช้งานมีหน่วยเป็น kVA (แรงดัน x กระแส) การส่งกำลังไฟฟ้าให้ได้มากคือการเพิ่มค่ากระแสหรือแรงดัน แต่การเพิ่มกระแสจะเป็นผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้น (I^2R) ในทางปฏิบัติจึงทำได้โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำได้โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า และเมื่อถึงปลายทางหรือจุดที่ต้องการใช้ไฟฟ้าก็ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดันให้เหมาะสมกับที่ใช้งานอีกครั้ง หม้อแปลงในประเทศไทยอาจแบ่งได้หลายประเภท เช่น หม้อแปลงกำลัง (Power Transformer) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) หม้อแปลงวัด (Instrument Transformer) เป็นต้น สำหรับในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง เป็นหลัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. ชนิดและข้อกำหนดของหม้อแปลง
2. ลักษณะเฉพาะของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ข้อกำหนดขนาดพิกัดหม้อแปลง
4. อุปกรณ์ป้องกันในกระแสเกินหม้อแปลง
5. วิธีการติดตั้งหม้อแปลง

2.2 สมรรถนะ

6. เลือกพิกัดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า
7. เลือกอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า
8. เลือกอุปกรณ์ประกอบติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกชนิดและข้อกำหนดการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง
2. บอกความหมายค่าทนแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของหม้อแปลงได้ถูกต้อง
3. อธิบายแทปแยกแรงดันของหม้อแปลงได้ถูกต้อง

4. อธิบายกำลังสูญเสียในหม้อแปลงได้ถูกต้อง
5. อธิบายค่าแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์หม้อแปลงได้ถูกต้อง
6. อธิบายเวคเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลงได้ถูกต้อง
7. บอกขนาดพิกัดของหม้อแปลงได้อย่างถูกต้อง
8. กำหนดขนาดเครื่องป้องกันในกระแสเกินหม้อแปลงได้ถูกต้อง
9. บอกข้อกำหนดของการติดตั้งหม้อแปลงภายในอาคารได้ถูกต้อง
10. บอกข้อกำหนดของการติดตั้งหม้อแปลงภายนอกอาคารได้ถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

11. เลือกพิกัดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าได้ถูกต้อง
12. เลือกขนาดอุปกรณ์ป้องกันแรงสูงและแรงต่ำได้ถูกต้อง
13. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำได้ถูกต้อง
14. เลือกชนิดและขนาดสายดินของหม้อแปลงได้ถูกต้อง
15. เลือกชนิดและขนาดอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหม้อแปลงได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

16. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 ชนิดและข้อกำหนดของหม้อแปลง

4.1.1 หม้อแปลงชนิดแห้ง

4.1.2 หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้

4.1.3 หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก

4.1.4 หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ

4.2 ศัพท์เฉพาะของหม้อแปลงไฟฟ้า

4.2.1 ค่าทนแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ

4.2.2 แทปแยกแรงดัน

4.2.3 กำลังสูญเสีย

4.2.4 แรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์

4.2.5 เวคเตอร์กรุ๊ป

4.3 การกำหนดขนาดพิกัดหม้อแปลง

4.4 การป้องกันในกระแสเกิน

4.4.1 การป้องกันกระแสเกินด้านแรงสูง

4.4.2 การป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำ

4.4.3 การต่อลงดิน

4.5 การติดตั้งหม้อแปลง

4.5.1 การติดตั้งภายในอาคาร

4.5.2 การติดตั้งภายนอกอาคาร

(ตามหนังสือประกอบการสอนหน่วยที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า
3. ใบปฏิบัติงานที่ 10 การเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง
   - 4.1 โมดูลหม้อแปลงขนาด 500 kVA 22kV/230-400V จำนวน 1 ลูก
   - 4.2 น้ำมันหม้อแปลง จำนวน 1 ลิตร
   - 4.2 ฟิวส์คัทเอาต์ จำนวน 1 ตัว
   - 4.3 ไส้ฟิวส์ลิงก์เป็นชนิด K จำนวน 1 ชุด
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 7 มอเตอร์ไฟฟ้า บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 7 มอเตอร์ไฟฟ้า พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนที่ 8 “ หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่อะไร และมีส่วนประกอบอะไรบ้าง” โดยนำโมดูลสื่อของจริงมาตั้งคำถาม	1. นักศึกษา 2-3 คนตอบคำถามที่ครูถามและซักถามข้อสงสัยจากสื่อของจริงที่ครูนำมาเป็นตัวอย่าง
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 8	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 8

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 8 เรื่อง หม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม เรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 8 เรื่อง หม้อแปลงไฟฟ้า	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 8	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 8
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 8	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 8 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 8 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 8

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 10 เรื่องการเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ	1. นักศึกษารับใบงานที่ 10 เรื่องการเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 10 การเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 10 การเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 10 เรื่องการเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 10 เรื่องการเลือกขนาดหม้อแปลงและอุปกรณ์ประกอบ
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 10 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 10 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 10 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 9 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 10 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 8 เรื่อง วัสดุและอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 8 เรื่องวัสดุและอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นการบ้านส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 10 รวม 70 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน และใบมอบหมายงานที่ 7 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 100 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 8 เรื่อง วัสดุและอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสการ ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 11

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 11/18
	ชื่อหน่วย : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร คือการคำนวณโหลดเพื่อกำหนดขนาดของวงจรไฟฟ้า ภายในอาคารทั้งหมด ประกอบด้วยวงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรสายเมนหรือสายประธาน โดยแต่ละวงจรต้องกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินและสายไฟฟ้า รวมทั้งข้อกำหนดการเดินสายและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับพิกัดแรงดันต่ำของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะแตกต่างกันอยู่บ้าง เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนและเป็นทิศทางเดียวกัน จึงยึดตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ซึ่งได้กำหนดตาม IEC 60038 (Standard Voltages) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ไว้คือ 230/400 V เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงสำหรับการคำนวณโหลดและออกแบบค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้า โดยในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสำหรับวงจรไฟฟ้าในอาคารที่จ่ายไฟให้ระบบแสงสว่าง เต้ารับ และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เป็นหลัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. วงจรย่อย
2. วงจรสายป้อน
3. วงจรสายประธาน
4. วิธีจัดทำตารางโหลด

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกค่าโหลดไฟฟ้าแสงสว่างวงจรย่อยได้ถูกต้อง
2. บอกค่าโหลดเต้ารับวงจรย่อยได้ถูกต้อง
3. บอกค่าโหลดเครื่องทำน้ำอุ่นวงจรย่อยได้ถูกต้อง
4. บอกค่าโหลดเครื่องปรับอากาศวงจรย่อยได้ถูกต้อง
5. บอกวิธีการหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยได้ถูกต้อง
6. จำแนกพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยได้ถูกต้อง
7. ระบุขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยได้ถูกต้อง
8. บอกข้อกำหนดการหาขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อย ได้ถูกต้อง

9. ระบุขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อยได้ถูกต้อง

10. อธิบายการหาโหลดของวงจรสายป้อนได้ถูกต้อง

11. บอกวิธีการหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อนได้ถูกต้อง

12. อธิบายการหาขนาดสายไฟฟ้าของสายป้อนได้ถูกต้อง

13. เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างการคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท.และการคำนวณโหลดโดยการรวมวงจรย่อยได้ถูกต้อง

14. บอกความหมายของวงจรประธานแรงต่ำได้อย่างถูกต้อง

15. อธิบายการหาขนาดวงจรประธานระบบแรงต่ำได้ถูกต้อง

16. หาความสัมพันธ์ในการกำหนดขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

17. บอกความหมายของวงจรประธานแรงสูงได้อย่างถูกต้อง

18. อธิบายการหาขนาดวงจรประธานระบบแรงสูงได้ถูกต้อง

19. บอกประโยชน์การจัดทำตารางโหลดได้

20. บอกวิธีจัดทำตารางโหลดได้ถูกต้อง

21. คำนวณออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารได้ถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ (ยังไม่ฝึกปฏิบัติ)

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (อยู่ในภาคฝึกปฏิบัติ)

4.เนื้อหาสาระ

4.1 วงจรย่อย

4.1.1 โหลดของวงจรย่อย

4.1.2 การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย

4.1.3 การหาขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อย

4.2 วงจรสายป้อน

4.2.1 การหาโหลดของสายป้อน

4.2.2 การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน

4.2.3 การหาขนาดสายไฟฟ้าของสายป้อน

4.3 วงจรสายประธาน

4.3.1 วงจรสายเมนระบบแรงต่ำ

4.3.2 วงจรสายเมนระบบแรงสูง

4.4 การจัดทำตารางโหลด

4.4.1 ประโยชน์การจัดทำตารางโหลด

4.4.2 วิธีจัดทำตารางโหลด

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทเรียนที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 9 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร
3. สื่อของจริง
    1. ตัวอย่างแบบไฟฟ้าอาคารบ้านพัก จำนวน 10 ชุด
    2. หลอดไส้ จำนวน 5 หลอด
    3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8, T5 จำนวน 5 หลอด
    4. หลอดคอมแพคหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 5 หลอด
    5. หลอด LED T8 จำนวน 5 หลอด
    6. โคมไฮเบย์ LED 250W จำนวน 2 หลอด
    7. โคมหลอดแสงจันทร์ 400W จำนวน 1 หลอด
    8. โคมหลอดโซเดียมความดันสูง 250W จำนวน 1 หลอด
    9. โคมหลอดเมทัลฮาไลด์ 400W จำนวน 1 หลอด
    10. เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3,500 W จำนวน 1 เครื่อง
    11. แผ่นป้ายเครื่องปรับอากาศ 24,000 BTU จำนวน 1 แผ่น
    12. เต้ารับทั่วไป จำนวน 5 ตัว
    13. มอเตอร์ปั้มน้ำ 5.5 HP 230 V จำนวน 1 ตัว
    14. มอเตอร์ปั้มน้ำ 4 HP 400 V จำนวน 1 ตัว
4. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
5. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 5 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 8 เรื่องวัสดุและอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 8 เรื่องวัสดุและอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วม ตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามโดยนำสื่อของจริง เช่น หลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 W ว่า “ค่าโหลดมีค่าเท่ากับเท่าใด มีความสำคัญอย่างไรกับการออกแบบระบบไฟฟ้า”	1. นักศึกษาดูสื่อจริงหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 W แล้วตอบคำถามที่ครูถามหรือซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูล (2 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาตามหัวข้อในหน่วยเรียนที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ โดยวางกรอบเวลาไว้ดังนี้ - หัวข้อวงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรสายประธาน (1 ชม.) - หัวข้อวิธีจัดทำตารางโหลดและตัวอย่างการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร (1 ชม.)	1. นักศึกษาฟังและจดบันทึกเนื้อหาตามหัวข้อในหน่วยเรียนที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร และตอบคำถาม - หัวข้อวงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรสายประธาน (1 ชม.) - หัวข้อวิธีจัดทำตารางโหลดและตัวอย่างการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร (1 ชม.)
2. ครูสรุปเนื้อหาในหน่วยเรียนที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบาย และตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายาม (2 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัยขณะทำแบบฯ สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผล (40 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 9	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 9 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 9 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 9
4. บันทึกหลังสอน	4. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

วิชาการประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน 10 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งที่ 11 นี้ 20 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

-ไม่มี-

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 12

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 12/18
	ชื่อหน่วย : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร คือการคำนวณโหลดเพื่อกำหนดขนาดของวงจรไฟฟ้า ภายในอาคารทั้งหมด ประกอบด้วยวงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรสายเมนหรือสายประธาน โดยแต่ละวงจรต้องกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินและสายไฟฟ้า รวมทั้งข้อกำหนดการเดินสายและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับพิกัดแรงดันต่ำของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะแตกต่างกันอยู่บ้าง เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนและเป็นทิศทางเดียวกัน จึงยึดตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ซึ่งได้กำหนดตาม IEC 60038 (Standard Voltages) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ไว้คือ 230/400 V เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงสำหรับการคำนวณโหลดและออกแบบค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้า โดยในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสำหรับวงจรไฟฟ้าในอาคารที่จ่ายไฟให้ระบบแสงสว่าง เต้ารับ และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เป็นหลัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

สมรรถนะ

1. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรย่อย
2. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรสายป้อน
3. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์เครื่องป้องกันและหน่วยวัดไฟฟ้าสำหรับวงจรสายประธาน

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้ (จัดการเรียนการสอนในครั้งที่ 11 เรียบร้อยแล้ว)

3.2 ด้านทักษะ (ใบปฏิบัติงานที่ 11 และ 12)

1. เลือกกลุ่มการติดตั้งได้อย่างถูกต้องเหมาะสม
2. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
3. เลือกชนิดและขนาดสายดินได้ถูกต้อง
4. เลือกชนิดและขนาดช่องเดินสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
5. เลือกชนิดและขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินได้ถูกต้อง
6. เลือกหน่วยวัดไฟฟ้าสำหรับวงจรสายประธานได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

7. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 การออกแบบ วงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรสายประธาน

4.2 การจัดทำตารางโหลดและการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002
   โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. ใบปฏิบัติงานที่ 11 การออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
3. ใบปฏิบัติงานที่ 12 การออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารสำนักงาน พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง
   1. ตัวอย่างแบบไฟฟ้าอาคารบ้านพัก จำนวน 10 ชุด
   2. หลอดไส้ จำนวน 5 หลอด
   3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8, T5 จำนวน 5 หลอด
   4. หลอดคอมแพคหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 5 หลอด
   5. หลอด LED T8 จำนวน 5 หลอด
   6. โคมไฮเบย์ LED 250W จำนวน 2 หลอด
   7. โคมหลอดแสงจันทร์ 400W จำนวน 1 หลอด
   8. โคมหลอดโซเดียมความดันสูง 250W จำนวน 1 หลอด
   9. โคมหลอดเมทัลฮาไลด์ 400W จำนวน 1 หลอด
   10. เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3,500 W จำนวน 1 เครื่อง
   11. แผ่นป้ายเครื่องปรับอากาศ 24,000 BTU จำนวน 1 แผ่น
   12. เต้ารับทั่วไป จำนวน 5 ตัว
   13. มอเตอร์ปั๊มน้ำ 5.5 HP 230 V จำนวน 1 ตัว
   14. มอเตอร์ปั๊มน้ำ 4 HP 400 V จำนวน 1 ตัว
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ปฏิบัติ 5 ชั่วโมง)

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 11 (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 11 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย	1. นักศึกษารับใบงานที่ 11 การออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

2. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 11 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 11	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 11
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

3. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 11 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 11 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 11 ของนักศึกษามาตรวจประเมิน บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 11 เสร็จและส่งครูตรวจประเมินผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

4. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 11 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 11 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

5. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 5 (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 12 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารสำนักงาน	1. นักศึกษารับใบงานที่ 12 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารสำนักงาน
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

6. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 5 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 12	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 12
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

7. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 12 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารสำนักงาน	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 12 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารสำนักงาน
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 12 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 12 ของนักศึกษามาตรวจประเมิน บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 12 เสร็จและส่งครูตรวจประเมินผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

8. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 5 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 12 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป
3. ครูบันทึกหลังสอน	3. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

การประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีสังเกตพฤติกรรม ถาม-ตอบ และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 11 จำนวน 60 คะแนน และใบงานที่ 12 รวม 60 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 120 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

-ไม่มี-

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 13

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 13/18
	ชื่อหน่วย : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร คือการคำนวณโหลดเพื่อกำหนดขนาดของวงจรไฟฟ้า ภายในอาคารทั้งหมด ประกอบด้วยวงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรสายเมนหรือสายประธาน โดยแต่ละวงจรต้องกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินและสายไฟฟ้า รวมทั้งข้อกำหนดการเดินสายและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับพิกัดแรงดันต่ำของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะแตกต่างกันอยู่บ้าง เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนและเป็นทิศทางเดียวกัน จึงยึดตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ซึ่งได้กำหนดตาม IEC 60038 (Standard Voltages) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ไว้คือ 230/400 V เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงสำหรับการคำนวณโหลดและออกแบบค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้า โดยในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสำหรับวงจรไฟฟ้าในอาคารที่จ่ายไฟให้ระบบแสงสว่าง เต้ารับ และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เป็นหลัก

2. สมรรถนะประจำหน่วย

สมรรถนะย่อย

1. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรย่อย
2. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องป้องกันสำหรับวงจรสายป้อน
3. เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์เครื่องป้องกันและหน่วยวัดไฟฟ้าสำหรับวงจรสายประธาน

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้ (จัดการเรียนการสอนในครั้งที่ 4 เรียบร้อยแล้ว)

3.2 ด้านทักษะ (ใบปฏิบัติงานที่ 13)

1. เลือกกลุ่มการติดตั้งได้อย่างถูกต้องเหมาะสม
2. เลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
3. เลือกชนิดและขนาดสายดินได้ถูกต้อง
4. เลือกชนิดและขนาดช่องเดินสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง
5. เลือกชนิดและขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินได้ถูกต้อง
6. เลือกหน่วยวัดไฟฟ้าสำหรับวงจรสายประธานได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

7. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 การออกแบบ วงจรย่อย วงจรสายป้อน และวงจรสายประธาน

4.2 การจัดทำตารางโหลดและการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002
   โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. ใบปฏิบัติงานที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้าอพาร์ทเม้นท์ พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
3. ใบมอบหมายงานที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร
4. สื่อของจริง
   1. ตัวอย่างแบบไฟฟ้าอาคารบ้านพัก จำนวน 10 ชุด
   2. หลอดไส้ จำนวน 5 หลอด
   3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8, T5 จำนวน 5 หลอด
   4. หลอดคอมแพคหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 5 หลอด
   5. หลอด LED T8 จำนวน 5 หลอด
   6. โคมไฮเบย์ LED 250W จำนวน 2 หลอด
   7. โคมหลอดแสงจันทร์ 400W จำนวน 1 หลอด
   8. โคมหลอดโซเดียมความดันสูง 250W จำนวน 1 หลอด
   9. โคมหลอดเมทัลฮาไลด์ 400W จำนวน 1 หลอด
   10. เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3,500 W จำนวน 1 เครื่อง
   11. แผ่นป้ายเครื่องปรับอากาศ 24,000 BTU จำนวน 1 แผ่น
   12. เต้ารับทั่วไป จำนวน 5 ตัว
   13. มอเตอร์ปั๊มน้ำ 5.5 HP 230 V จำนวน 1 ตัว
   14. มอเตอร์ปั๊มน้ำ 4 HP 400 V จำนวน 1 ตัว
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ปฏิบัติ 5 ชั่วโมง)

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 13 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 13 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอพาร์ทเม้นท์	1. นักศึกษารับใบงานที่ 13 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอพาร์ทเม้นท์
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

2. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 13 (20 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 13	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 13
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

3. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 13 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอพาร์ทเม้นท์	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 13 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าอพาร์ทเม้นท์
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 13 ของนักศึกษามาตรวจประเมิน บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 13 เสร็จและส่งครูตรวจประเมินผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

4. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (1 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 6 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 13 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (50 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 13 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 13 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

6. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 9 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 9 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัยส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

วิชาการประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลาและการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้สังเกติพฤติกรรม วิธีถาม-ตอบ และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 13 รวม 60 คะแนน

3. หลังเรียนตามใบมอบหมายงานที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 70 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 9 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 14

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 10,11
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 14/18
	ชื่อหน่วยที่ 10 : เครื่องเชื่อมไฟฟ้า ชื่อหน่วยที่ 11 : เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

เครื่องเชื่อมไฟฟ้า การออกแบบวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้าจะมีข้อต่างจากวงจรเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เนื่องจากโดยปกติเครื่องเชื่อมจะไม่ใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน ขนาดสายไฟฟ้าจึงอาจเล็กกว่าพิกัดกระแสของเครื่องเชื่อมได้โดยยึดตามมาตราฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย วสท. 2556 ตามหัวข้อ 10.1 “ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า ” หรือ NEC 630 เป็นหลักในการคำนวณออกแบบและติดตั้ง ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าขาออกเครื่องเชื่อม (ตัวนำทองแดงฝอย) ตาม มอก.448-2525

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Standby Generator) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งของระบบไฟฟ้า ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าสำรองในกรณีที่กระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ดับ หรือขนานเข้าระบบของการไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดบางชนิดในช่วงเวลาที่มีความต้องพลังงานไฟฟ้าสูงทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้อีกทาง การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองโดยปกติเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญๆ เช่น โหลดไฟฟ้าในระบบป้องกันอัคคีภัย แสงสว่างตรงทางเดิน บันไดหนีไฟ หรือโหลดที่จำเป็นต้องเดินเครื่องตลอดเวลา หรือแม้กระทั่งโหลดไฟฟ้าที่ใช้ในโรงพยาบาล ซึ่งโหลดเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้ในยามฉุกเฉินและต่อเนื่อง

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

หน่วยที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

1. วงจรย่อยเครื่องเชื่อม
2. วงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม

หน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

1. ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
2. พิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
3. วิธีขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
4. วิธีติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

2.2 สมรรถนะประจำหน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

1. เลือกพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
2. เลือกขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

หน่วยที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

1. ระบุรอบการทำงานของเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง
2. ระบุขนาดสายวงจรย่อยเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง
3. บอกขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง
4. บอกข้อกำหนดการหาขนาดพิกัดเครื่องปลดวงจรย่อยเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง
5. บอกข้อกำหนดการหาขนาดสายป้อนเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง
6. บอกข้อกำหนดการขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินสายป้อนเครื่องเชื่อมได้ถูกต้อง

หน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

1. บอกส่วนประกอบของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้
2. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้
3. บอกลักษณะการใช้งานสวิตช์สับเปลี่ยน (ATS) ในชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกต้อง
4. ระบุพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง
5. บอกข้อกำหนดการหาขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง
6. บอกสาเหตุการเกิดแรงดันตกวูบ (Voltage Dip) ได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายความสัมพันธ์ของค่า Voltage Dip ต่อ Starting kVA ได้อย่างถูกต้อง
8. คำนวณหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้อย่างถูกต้อง
9. บอกวิธีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง
10. บอกวิธีติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองได้ถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

1. เลือกพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองใช้งานได้อย่างถูกต้อง
2. เลือกชนิดและขนาดสวิตช์สับเปลี่ยนได้อย่างเหมาะสม
3. เลือกสถานที่ติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

4. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

<u>หน่วยที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า</u>

4.1 วงจรย่อยเครื่องเชื่อม

4.1.1 ขนาดสายเครื่องเชื่อม

4.1.2 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน

4.1.3 ขนาดเครื่องปลดวงจร

4.2 วงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม

4.2.1 ขนาดสายป้อนเครื่องเชื่อม

4.2.2 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า)

<u>หน่วยที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง</u>

4.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.1 เครื่องต้นกำลัง

4.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.3 สวิตช์สับเปลี่ยน

4.2 พิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.2.1 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.2.2 ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.3 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.3.1 แบบใช้มือ

4.3.2 แบบอัตโนมัติ

4.4 การติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.4.1 สถานที่ติดตั้ง

4.4.2 ฐานติดตั้ง

4.4.3 การระบายอากาศ

4.4.4 เสียงรบกวน

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002
   โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และบทเรียนที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
3. ใบปฏิบัติงานที่ 14 การเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

4. สื่อของจริง

4.1 แผ่นป้ายประจำเครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ 24.5 kVA จำนวน 1 แผ่น

4.2 สายเครื่องเชื่อม (ตัวนำทองแดงฝอย) ตาม มอก.448-2525 จำนวน 1 เส้น

4.3 แผ่นป้ายประจำเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (150 kW) จำนวน 1 แผ่น

4.4 สวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch) จำนวน 1 ชุด

4.5 Data–Diesel Generator Sets ของผู้ผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำนวน 1 ชุด

5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV

6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2.30 ชั่วโมง ปฏิบัติ 2.30 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 9 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 9 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูนำสื่อของจริงมาตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “เครื่องเชื่อมไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีพิกัดหน่วยอะไร และมีความสำคัญอย่างไรกับการเลือกใช้งาน”	1. นักศึกษาดูสื่อของจริงแล้วตอบคำถามที่ครูถาม และซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 10 และบทที่ 11	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 10 และบทที่ 11

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 10 เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และบทเรียนที่ 11 เรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง โดยใช้สื่อ Power Point และใช้สื่อของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายบทเรียนที่ 10 เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และบทเรียนที่ 11 เรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง และตอบคำถาม
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 10 เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และบทเรียนที่ 11 เรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายบทเรียนที่ 10 และ 11 และตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (1 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 10 และ 11	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 10 และ 11
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 10 และ 11	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 10 และ 11 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียน บทเรียนที่ 10 และ 11 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 10 และ11

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 14 เรื่องการเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	1. นักศึกษารับใบงานที่ 14 เรื่องการเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 14 การเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 14 การเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 14 เรื่องการเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 14 เรื่องการเลือกพิกัดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 14 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 14 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 14 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 14 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 14 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10. ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 10 เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และ 11 เรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 10 เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และ 11 เรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง เป็นการบ้าน ส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชาเครื่องกลไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 14 จำนวน 40 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 10 (10 คะแนน) บทที่ 11 (10 คะแนน) และทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 10 (10 คะแนน) และบทที่ 11 (10 คะแนน**)** และใบมอบหมายงานที่ 10 และ 11 (ส่งสัปดาห์ถัดไป) ใบมอบหมายงานละ 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 100 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 10 เรื่องขนาดสายและอุปกรณ์ป้องกันเครื่องเชื่อมไฟฟ้า และใบมอบหมายงานที่ 11 เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 15

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 12
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 15/18
	ชื่อหน่วยที่ 12 : การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

โหลดของระบบไฟฟ้ากระแสสลับส่วนใหญ่เป็นโหลดชนิดเหนี่ยวนำ (Inductive Load) เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า บัลลาสต์ หม้อแปลง เครื่องเชื่อม เป็นต้น ต้องใช้กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทิฟ (Reactive Power) ในการทำงาน โดยกระแสไฟฟ้าของโหลดดังกล่าวจะล้าหลังแรงดัน (lagging) ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าโดยรวมมีตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ค่อนข้างต่ำ การที่ระบบไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ จะมีผลเสียต่อระบบไฟฟ้าอย่างมากที่เห็นได้ชัดเจน คือในรูปของค่าสูญเสียต่างๆ และอาจต้องเสียเงินค่าปรับให้การไฟฟ้าฯ เนื่องจากมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าที่การไฟฟ้าฯ กำหนดไว้ ดังนั้นระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยวิธีที่นิยมคือติดตั้ง คาปาซิเตอร์ (capacitor) ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้า คาปาซิเตอร์จะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้ารีแอกทีฟ โดยกระแสไฟฟ้ามีทิศทางนำหน้าแรงดัน (leading) เพื่อชดเชยกับกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า ซึ่งการกำหนดขนาดและติดตั้งคาปาซิเตอร์ต้องทำอย่างถูกต้องละรอบคอบ

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. กำหนดขนาดคาปาซิเตอร์
3. ประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
4. ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์
5. ขนาดเครื่องป้องกันและสายไฟฟ้าวงจรคาปาซิเตอร์

2.2 สมรรถนะ

1. ต่อวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. เลือกใช้ขนาดคาปาซิเตอร์ให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกต้อง
2. บอกความหมายของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง
3. อธิบายหลักการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้อง
4. คำนวณหาขนาดของคาปาซิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

5. บอกประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้

6. คำนวณหากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ถูกต้อง

7. คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ถูกต้อง

8. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลือหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ถูกต้อง

9. บอกตำแหน่งและข้อดีข้อเสียของการติดตั้งคาปาซิเตอร์ในแต่ละตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง

10. คำนวณหาขนาดตัวคาปาซิเตอร์สำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ได้ถูกต้อง

11.บอกส่วนประกอบของชุดควบคุมตัวประกอบกำลังอัตโนมัติได้ถูกต้อง

12. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ (PFC) ได้ถูกต้อง

13. คำนวณหาค่าปรับตั้งความไวและขนาดคาปาซิเตอร์ในแต่ละขั้นของเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติได้ถูกต้อง

14. บอกขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน เครื่องปลดวงจร และขนาดสายไฟฟ้าในวงจรคาปาซิเตอร์ได้ถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

15. กำหนดหาขนาดคาปาซิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

16. ต่อวงจรคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

17. เลือกใช้คาปาซิเตอร์ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

18. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

4.1.1 กำลังไฟฟา

4.1.2 นิยามตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

4.1.3 หลักการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

4.2 การกำหนดขนาดคาปาซิเตอร์

4.3 ประโยชน์ของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

4.4 ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์

4.5 การหาขนาดเครื่องป้องกันและสายไฟฟ้า

4.5.1 เครื่องป้องกันกระแสเกิน

4.5.2 ขนาดสายไฟฟ้า

4.5.3 เครื่องปลดวงจร

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002
   โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
3. ใบปฏิบัติงานที่ 15 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง
   1. มอเตอร์ไฟฟ้า 1/4 HP 4 POLE 230V 50 Hz 2.8 A พร้อมชุดโหลด จำนวน 1 ชุด
   2. เครื่องวัดดิจิตอลมัลติมิเตอร์มิเตอร์ จำนวน 2 ชุด
   3. สายเสียบทดลองต่อวงจร จำนวน 1 ชุด
   4. เพาเวอร์ซับพลาย 0-250 VAC จำนวน 1 ชุด
   6. คาปาซิเตอร์ขนาด 10,20,30,40,50,60 µf จำนวน 1 ชุด
   7. นาฬิกาจับเวลา จำนวน 1 ตัว
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 10 เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และ 11 เรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 10 เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และ 11 เรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูนำสื่อของจริงมาตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “ตัวคาปาซิเตอร์ใช้ปรุงปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าได้อย่างไร”	1. นักศึกษาดูสื่อของจริงแล้วตอบคำถามที่ครูถาม และซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 12	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 12

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 12 เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยใช้สื่อ Power Point และใช้สื่อของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายบทเรียนที่ 12 เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และตอบคำถาม
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 12 เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายบทเรียนที่ 12 เรื่องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 12	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 12
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 12	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 12	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 12 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 12

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 15 เรื่องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1. นักศึกษารับใบงานที่ 15 เรื่องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 15 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 15 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 15 เรื่องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 15 เรื่องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 15 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 15 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 15 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 15 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 15 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10.ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 12 เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 12 เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ส่งในสัปดาห์ถัดไป
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชาวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 15 จำนวน 40 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 10 (10 คะแนน) และทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 10 (10 คะแนน) และใบมอบหมายงานที่ 12 (10 คะแนน)

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 70 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 12 เรื่องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 16

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 13
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 16/18
	ชื่อหน่วย : การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การออกแบบระบบไฟฟ้าในในโรงงาน ใช้หลักการเช่นเดียวกับการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร เพียงแต่ในโรงงานจะมีโหลดที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมมากขึ้น การคำนวณวงจรสายป้อนหรือวงจรสายประธานอาจแตกต่างกันไปบ้าง โดยการคำนวณการออกแบบระบบไฟฟ้าในในโรงงาน โดยอาจเริ่มจากความต้องการของเจ้าของโครงการหรือกระบวนการผลิตตามที่เจ้าของโครงการแจ้ง แล้วศึกษาข้อมูลร่วมกับวิศวกรด้านสถาปัตยกรรม ด้านเครื่องกล ด้านสิ่งแวดล้อม ฯลฯ จากนั้นวิศวกรไฟฟ้าออกแบบระบบไฟฟ้าทั้งหมด ประกอบด้วย คำนวณโหลด กำหนดอุปกรณ์ป้องกัน กำหนดวิธิเดินสายไฟฟ้า ขนาดสาย ขนาดหม้อแปลง ขนาดอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ จัดทำตารางโหลด แผนภาพเส้นเดียว แผนภาพแนวตั้ง (ถ้ามี) เขียนแบบแปลนไฟฟ้า ซึ่งตำแหน่งติดตั้งแผงเมนสวิตช์หรือแผงย่อยตลอดจนบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จะต้องแจ้งความต้องการใช้พื้นที่ติดตั้งเหล่านี้ ให้สถาปนิกทราบ เพื่อจัดสรรการพื้นที่ให้แก่ระบบไฟฟ้าต่อไป

2. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน
2. การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม
3. การหาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง
4. การหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานได้
2. ระบุขนาดค่าโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานได้ถูกต้อง
3. ออกแบบขนาดวงจรย่อยได้อย่างถูกต้อง
4. ออกแบบขนาดวงจรสายป้อนได้อย่างถูกต้อง
5. ออกแบบขนาดวงจรสายประธานได้อย่างถูกต้อง
6. กำหนดขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานได้อย่างถูกต้อง
7. กำหนดขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองของโรงงานได้อย่างเหมาะสม
8. ออกแบบระบบบไฟฟ้าภายในโรงงานได้

3.2 ด้านทักษะ (ยังไม่ฝึกปฏิบัติ)

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (อยู่ในภาคฝึกปฏิบัติ)

4.เนื้อหาสาระ

4.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน

4.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

4.2.1 หาขนาดและกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้า

4.2.2 การหาขนาดวงจรย่อยและสายป้อน

4.2.3 การหาขนาดวงจรสายประธาน

4.3 การหาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

4.4 การหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทเรียนที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร
3. สื่อของจริง
   1. ตัวอย่างแบบแปลนไฟฟ้าโรงงาน จำนวน 5 ชุด
   2. แผ่นป้ายมอเตอร์ปั๊มน้ำ 180 HP 400 V จำนวน 1 แผ่น
   3. แผ่นนป้ายเครื่องเชื่อมไฟฟ้า 32 kVA จำนวน 1 แผ่น
   4. แผ่นนป้ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 150 kW จำนวน 1 แผ่น
4. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
5. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 5 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 12 เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 12 เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วม ตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตั้งคำถามโดยนำสื่อของจริงตัวอย่างแบบแปลนไฟฟ้าโรงงาน ว่า “แบบไฟฟ้ามีรายละเอียดอะไรบ้าง และแต่ละส่วนความสำคัญอย่างไร”	1. นักศึกษาดูสื่อจริงแบบแปลนไฟฟ้าโรงงาน แล้วตอบคำถามที่ครูถาม และซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 13	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 13

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูล (2 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาตามหัวข้อในหน่วยเรียนที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน โดยใช้สื่อ Power Point และของจริงประกอบ โดยวางกรอบเวลาไว้ดังนี้ - ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน (1 ชม.) - ตัวอย่างการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (1 ชม.)	1. นักศึกษาฟังและจดบันทึกเนื้อหาตามหัวข้อในหน่วยเรียนที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน และตอบคำถาม - ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน (1 ชม.) - ตัวอย่างการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (1 ชม.)
2. ครูสรุปเนื้อหาในหน่วยเรียนที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบายและตอบคำถาม

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายาม (2 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัยขณะทำแบบฯ สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผล (40 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 13	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 13
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 13 แล้วตรวจบันทึกคะแนน	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 13 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 13
4. บันทึกหลังสอน	4. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

วิชาการประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียนที่ 13 (10 คะแนน)

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งที่ 16 นี้ รวม 20 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

-ไม่มี-

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 17

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 13
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 17/18
	ชื่อหน่วย : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การออกแบบระบบไฟฟ้าในในโรงงาน ใช้หลักการเช่นเดียวกับการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร เพียงแต่ในโรงงานจะมีโหลดที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมมากขึ้น การคำนวณวงจรสายป้อนหรือวงจรสายประธานอาจแตกต่างกันไปบ้าง โดยการคำนวณการออกแบบระบบไฟฟ้าในในโรงงาน โดยอาจเริ่มจากความต้องการของเจ้าของโครงการหรือกระบวนการผลิตตามที่เจ้าของโครงการแจ้ง แล้วศึกษาข้อมูลร่วมกับวิศวกรด้านสถาปัตยกรรม ด้านเครื่องกล ด้านสิ่งแวดล้อม ฯลฯ จากนั้นวิศวกรไฟฟ้าออกแบบระบบไฟฟ้าทั้งหมด ประกอบด้วย คำนวณโหลด กำหนดอุปกรณ์ป้องกัน กำหนดวิธิเดินสายไฟฟ้า ขนาดสาย ขนาดหม้อแปลง ขนาดอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ จัดทำตารางโหลด แผนภาพเส้นเดียว แผนภาพแนวตั้ง (ถ้ามี) เขียนแบบแปลนไฟฟ้า ซึ่งตำแหน่งติดตั้งแผงเมนสวิตช์หรือแผงย่อยตลอดจนบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จะต้องแจ้งความต้องการใช้พื้นที่ติดตั้งเหล่านี้ ให้สถาปนิกทราบ เพื่อจัดสรรการพื้นที่ให้แก่ระบบไฟฟ้าต่อไป

2. สมรรถนะประจำหน่วย

สมรรถนะ

1. ออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม
2. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
3. เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในโรงงานอุตสาหกรรม

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้ (จัดการเรียนการสอนในครั้งที่ 16 เรียบร้อยแล้ว)

3.2 ด้านทักษะ (ใบปฏิบัติงานที่ 16 และ 17)

1. ออกแบบวงจรย่อย สายป้อน และสายประธานได้
2. กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ และอุปกรณ์ป้องได้ถูกต้อง
3. จัดทำตารางโหลด และแผนภาพเส้นเดียวได้ถูกต้อง
4. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้
5. เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในโรงงานอุตสาหกรรมได้

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

7. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

4.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. ใบปฏิบัติงานที่ 16 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
3. ใบปฏิบัติงานที่ 17 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง
   1. ตัวอย่างแบบแปลนไฟฟ้าโรงงาน จำนวน 5 ชุด
   2. แผ่นป้ายมอเตอร์ปั้มน้ำ 180 HP 400 V จำนวน 1 แผ่น
   3. แผ่นนป้ายเครื่องเชื่อมไฟฟ้า 32 kVA จำนวน 1 แผ่น
   4. แผ่นนป้ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 150 kW จำนวน 1 แผ่น
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ปฏิบัติ 5 ชั่วโมง)

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 16 (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 16 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก	1. นักศึกษารับใบงานที่ 16 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

2. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 16 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 16	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 16
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

3. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 16 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 16 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 16 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 16 ของนักศึกษามาตรวจประเมิน บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 16 เสร็จและส่งครูตรวจประเมินผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

4. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 16 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 16 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

5. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนใบงานที่ 17 (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 17 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง	1. นักศึกษารับใบงานที่ 17 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

6. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลใบงานที่ 17 (10 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 17	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 17
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

7. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 17 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 17 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 17 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 17 ของนักศึกษามาตรวจประเมิน บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 17 เสร็จและส่งครูตรวจประเมินผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

8. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 17 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 17 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 13 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไป	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 13 เรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน ส่งในสัปดาห์ถัดไป
3. ครูบันทึกหลังสอน	3. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชากฎและมาตรฐานทางไฟฟ้า วิชาการติดตั้งไฟฟ้า 2

การประมาณการระบบไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีสังเกตพฤติกรรม ถาม-ตอบ และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 16 จำนวน 60 คะแนน และใบงานที่ 17 รวม 60 คะแนน

3. หลังเรียนตามใบมอบหมายงานที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน (ส่งสัปดาห์ถัดไป) 10 คะแนน

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 130 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ

สอนครั้งที่ 18

	แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ	หน่วยที่ 14
	ชื่อวิชา : การออกแบบระบบไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 18/18
	ชื่อหน่วยที่ 14 : การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง	เวลาเรียนรวม 5 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง : การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง		จำนวน 5 ชั่วโมง

1.สาระสำคัญ

การเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า เริ่มต้นด้วยก้อนเมฆเก็บสะสมประจุไฟฟ้าจนเพียงพอที่จะเกิดการถ่ายเทประจุที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า” การเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า มี 3 แบบ คือ ฟ้าผ่าภายในก้อนเมฆ ฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆ และฟ้าผ่าจากก้อนเมฆกับพื้นดิน โดย 2 แบบแรก มักเรียกว่า “ฟ้าแลบ” และแบบสุดท้ายเรียกว่า “ฟ้าผ่า” ซึ่งความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่า สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ ความเสียหายต่อชีวิตและความเสียหายต่อทรัพย์สิน ความเสียหายต่อชีวิตสามารถจำแนกสาเหตุของความเสียหายได้ 4 รูปแบบได้แก่ ฟ้าผ่าโดยตรง (Direct strikes) ฟ้าผ่าด้านข้าง (Side flash) แรงดันไฟฟ้าสัมผัส (Touch voltage) และแรงดันไฟฟ้าช่วงก้าว (Step voltage) ส่วนความเสียหายต่อทรัพย์สิน สามารถจำแนกสาเหตุของความเสียหายได้ 2 รูปแบบได้แก่ ฟ้าผ่าโดยตรง (Direct strikes) คือ การเกิดฟ้าผ่าลงที่โครงสร้างของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างโดยตรง ทำให้เกิดความเสียหายทางกลและทางความร้อนต่อโครงสร้างของอาคาร รวมไปถึงทำให้เกิดประกายไฟจนทำให้เกิดการจุดติดของไฟหรือการระเบิดได้ และฟ้าผ่าแบบโดยอ้อม (Indirect strikes) คือ การเกิดฟ้าผ่าในพื้นที่ข้างเคียงในบริเวณที่ห่างออกไป เช่น ฟ้าผ่าลงที่แนวสายส่งไฟฟ้า เป็นผลทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้ายกตัวสูงขึ้นจากระดับแรงดันไฟฟ้าปกติของสายส่ง หรือมีฟ้าผ่าลงดิน พื้นดินหรือต้นไม้ในพื้นที่ใกล้เคียงกับอาคารของเรา ก็จะทำให้ความต่างศักย์ของระบบสายดินมีค่าสูงขึ้นกว่าปกติ จนเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงเครื่องมือแพทย์ได้รับผลกระทบเกิดความเสียหายได้ สำหรับในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงผลกระทบทางอ้อมเท่านั้น เนื่องจากสามารถป้องกันและลดความเสียหายลงได้ แบ่งการป้องกันออกเป็น 2 ส่วน คือการป้องกันฟ้าผ่าของระบบไฟฟ้าและการป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง

2. สมรรถนะประจำหน่วย

2.1 แสดงความรู้เกี่ยวกับ

1. วิธีป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้า
2. วิธีป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง

2.2 สมรรถนะ

1. เลือกใช้วัสดุ ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง
2. เลือกใช้อุปกรณ์ ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง

3.จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

1. บอกความหมายของการป้องกันฟ้าผ่าได้อย่างถูกต้อง
2. บอกข้อกำหนดการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าในระบบแรงสูง ได้ถูกต้อง
3. บอกพิกัดกับดักฟ้าผ่าและกำหนดขนาดสายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่า ได้ถูกต้อง
4. บอกหลักการป้องกันฟ้าผ่าในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้อย่างถูกต้อง
5. บอกความหมายและส่วนประกอบของการป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง ได้ถูกต้อง
6. บอกลักษณะและหน้าที่ของตัวนำล่อฟ้าได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายการจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายมุมป้องกัน (α°) ของระบบตัวนำล่อฟ้า ได้ถูกต้อง
9. อธิบายรัศมีป้องกัน (r) ของระบบตัวนำล่อฟ้าได้ถูกต้อง
10. อธิบายตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่ายได้ถูกต้อง
11. บอกลักษณะการติดตั้งและหน้าที่ของตัวนำลงดินได้ถูกต้อง
12. บอกความหมายของระบบรากสายดินได้ถูกต้อง
13. ระบุคุณสมบัติของวัสดุประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าได้ถูกต้อง

3.2 ด้านทักษะ

14. เลือกใช้วัสดุในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างได้อย่างเหมาะสม
15. เลือกใช้อุปกรณ์ในงานป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างได้อย่างเหมาะสม
16. เลือกวิธีป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างได้อย่างเหมาะสม

3.3 ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

17. มีกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี

4.เนื้อหาสาระ

4.1 การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้า

4.1.1 การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าในระบบแรงสูง

4.1.2 การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าในระบบแรงต่ำ

4.2 ระบบการป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง

4.2.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า

4.2.2 วัสดุประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า

(ตามหนังสือประกอบการสอนบทที่ 14 เรื่อง การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง)

5. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือประกอบการสอน วิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-2002 โดย นายสุนทร ดอนชัย
2. แบบฝึกหัดและแบบทดสอบท้ายบทเรียนที่ 14 การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง
3. ใบปฏิบัติงานที่ 18 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง พร้อมแบบประเมินผลการปฏิบัติงาน
4. สื่อของจริง
    1. กับดักฟ้าผ่าแรงสูง 22 - 24 kV จำนวน 1 ตัว
    2. กับดักฟ้าผ่าแรงต่ำ 250 - 500 V จำนวน 3 ตัว
    3. สายเคเบิลใต้ดิน จำนวน 1 เส้น
    4. อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในอาคาร (SPD) จำนวน 1 ชุด
    5. ตัวนำล่อฟ้าแบบเทปตันชนิดอะลูมิเนียม ขนาด 25 x 4 mm. จำนวน 1 เส้น
    6. แท่งตัวนำล่อฟ้าแบบกลมตันชนิดอะลูมิเนียมพร้อมฐาน จำนวน 1 แท่ง
    7. แท่งกลมตันชนิดเหล็กชุบทองแดง 16 mm ความยาว 3 เมตร จำนวน 1 แท่ง
    8. กล่องทดสอบระบบการต่อลงดิน จำนวน 1 กล่อง
    9. ขั้วต่อสายชนิด Bi-Metallic จำนวน 1 ตัว
    10. เครื่องวัดค่าความต้านทานของหลักดินล่อฟ้าแบบ 3 จุด จำนวน 1 เครื่อง
5. เครื่องขยายเสียง เครื่องฉายพร้อมจอโปรแจคเตอร์ หรือ TV
6. สื่อคอมพิวเตอร์นำเสนอด้วยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง)

1. ส่งและตรวจงานมอบหมายสัปดาห์ที่ผ่านมา (10 นาที)

กิจกรรมการเรียนรู้	
กิจกรรมครู	กิจกรรมนักศึกษา
1. ครูตรวจงานตามใบมอบหมายงานที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน บันทึกคะแนน พร้อมอธิบายและให้คำแนะนำ สอบถามเพิ่มเติม แล้วส่งคืนผลงาน	1. นักศึกษาส่งงานตามใบมอบหมายงานที่ 13 เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน พร้อมรับฟังคำแนะนำและตอบคำถามครูรายบุคคล
2. ครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การแต่งกายถูกระเบียบ ความสนใจใฝ่รู้ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี และคำนึงถึงความปลอดภัย	2. นักศึกษารับฟังครูอบรมคุณลักษณะที่พึงประสงค์และมีส่วนร่วมตอบคำถาม

2. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคทฤษฎี (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูนำสื่อของจริงมาตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน “กับดักฟ้าผ่าแรงต่ำและแรงสูงทำงานอย่างไร และติดตั้งตำแหน่งใดในระบบไฟฟ้า”	1. นักศึกษาดูสื่อของจริงกับดักฟ้าผ่าแรงต่ำและแรงสูง แล้วตอบคำถามที่ครูถาม และซักถามข้อสงสัย
3. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 14	3. นักศึกษาแบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 14

3. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคทฤษฎี (1 ชม.)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูอธิบายเนื้อหาในบทเรียนที่ 14 เรื่อง การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง โดยใช้สื่อ Power Point และใช้สื่อของจริงประกอบ	1. นักศึกษาจดบันทึกเนื้อหาที่ครูอธิบายบทเรียนที่ 14 เรื่อง การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง และตอบคำถาม
2. ครูสรุปเนื้อหาในบทเรียนที่ 14 เรื่อง การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง	2. นักศึกษาจดบันทึกสรุปเนื้อหาที่ครูอธิบาย บทเรียนที่ 14 เรื่องการป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง

4. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคทฤษฎี (30 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 14	1. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดหัดท้ายบทที่ 14
2. ครูคอยให้คำแนะนำนักศึกษา ช่วงทำกิจกรรม	2. นักศึกษาสงสัย สอบถามครู

5. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคทฤษฎี (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูตรวจและบันทึกคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 14	1. นักศึกษาส่งแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14
2. ครูให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 14 เรื่องการป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง	2. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนบทเรียนที่ 14 แล้วส่งครูตรวจให้คะแนน
3.ครูประกาศคะแนนแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียนให้นักศึกษาทราบ พร้อมสรุปเนื้อหาภาคทฤษฎี	3.นักศึกษารับทราบผลคะแนน พร้อมรับฟังสรุปภาคทฤษฎีบทเรียนที่ 14

6. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแจกใบงานที่ 18 เรื่อง การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง	1. นักศึกษารับใบงานที่ 18 เรื่องการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง
2. ครูนำสื่อของจริงมานำเข้าสู่บทเรียนภาคปฏิบัติ	2. นักศึกษาดูของจริง เกิดแนวคิดทำกิจกรรม

7. ขั้นเรียนรู้หรือขั้นศึกษาข้อมูลภาคปฏิบัติ (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูแสดงสาธิต อธิบายและยกตัวอย่างการปฏิบัติตามใบงานที่ 18 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง	1. นักศึกษารับดูครูสาธิต และยกตัวอย่างการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 18 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง
2. ครูชี้แจงข้อควรระวัง ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	2. นักศึกษาฟังและศึกษาลำดับขั้นตามใบงาน

8. ขั้นทำกิจกรรมหรือขั้นพยายามภาคปฏิบัติ (2.30 ชั่วโมง)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 18 เรื่องการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง	3. นักศึกษาฝึกปฏิบัติตามใบปฏิบัติงานที่ 18 เรื่องการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง
2. ครูควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำ สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียน บันทึกผล	2. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 18 จนแล้วเสร็จในเวลากำหนด แล้วส่งผลงานให้ครูตรวจ
3. ครูเตรียมรับผลงานตามใบปฏิบัติงานที่ 18 ของนักศึกษามาตรวจ บันทึกให้คะแนน พร้อมเสนอแนะรายบุคคล	3. นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 18 เสเสร็จและส่งครูตรวจผลงาน พร้อมรับเสนอแนะรายบุคคล

9. ขั้นสรุปหรือขั้นสำเร็จผลภาคปฏิบัติ (15 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1. ครูตรวจประเมินผลงานการปฏิบัติงานใบปฏิบัติงานที่ 18 บันทึกและสรุปคะแนนให้นักศึกษาฟัง	1. นักศึกษาส่งผลงานการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 18 ให้ครูตรวจ รับทราบผลประเมิน
2. ครูสรุปผลประเมินผลงานการปฏิบัติงาน พร้อมให้ข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป	2. นักศึกษารับทราบผลประเมิน พร้อมรับข้อแนะนำสำหรับการปฏิบัติการครั้งต่อไป

10.ขั้นมอบหมายงานและบันทึกหลังสอน (5 นาที)

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
1.ครูแจกใบมอบหมายงานที่ 14 เรื่อง การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง โดยให้ส่งผลงานในสัปดาห์ถัดไปพร้อมกับทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียน	1. นักศึกษารับใบมอบหมายงานที่ 14 เรื่อง การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง ส่งในสัปดาห์ถัดไปพร้อมทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียน
2. บันทึกหลังสอน	2. นักศึกษาทำเวรความสะอาด

7. การบูรณาการ/ความสัมพันธ์กับรายวิชาอื่น

วิชาการวิเคราะห์ข่ายวงจรไฟฟ้า

8. การวัดและประเมินผลการเรียน

1. ก่อนเรียน ใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมทางด้านความสนใจใฝ่รู้ ความกระตือรือร้น การตรงต่อเวลา และการให้ความร่วมมือในการเรียน และใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ขณะเรียน ใช้วิธีถาม-ตอบ โดยมีคำถามนำก่อนอธิบายเนื้อหาและถามทบทวนเนื้อหาที่ครูอธิบายระหว่างทำการสอน และใช้แบบประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบปฏิบัติงานที่ 18 จำนวน 40 คะแนน

3. หลังเรียน ใช้วิธีทำแบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 14 (10 คะแนน) และทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 14 (10 คะแนน) และใบมอบหมายงานที่ 14 (10 คะแนน)

4. รวมเก็บคะแนนดิบในการสอนครั้งนี้ 70 คะแนน

9. งานที่มอบหมาย

หลังเรียนปฏิบัติตามใบมอบหมายงานที่ 14 เรื่องการป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง ส่งสัปดาห์ถัดไป

10. เอกสารอ้างอิง

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การออกระบบไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2561.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). พิมพ์ครั้งที่ 31. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า** (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 ตามมาตรฐาน วสท. 2556). กรุงเทพฯ : หจก โชติอนันต์ ครีเอชั่น , 2558.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564

11. บันทึกหลังสอน (วันที่.....เวลา.....ระดับชั้น.....)

1 .ผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

11. ผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

12. แนวทางการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นายสุนทร ดอนชัย)

ความเห็นหัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง .... ลงชื่อ ..... (นายภาสกร ศรีขาว)	ความเห็นหัวหน้างานพัฒนาหลักสูตรการเรียนฯ .... ลงชื่อ ..... (นายคารมย์ แก้วกันยา)
ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ..... ลงชื่อ ..... (นายสุวิชา มั่นยืน) รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ	

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 1 กฎมาตรฐานทางไฟฟ้า

1. มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าประจำชาติมีรายละเอียดอย่างไรบ้าง ยกตัวอย่าง

ตอบ มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าประจำชาติ หมายถึงมาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า (Product Standard) หรือมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประเทศนั้นๆ ได้ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน โดยผ่านหน่วยงานภายในประเทศ ยกตัวอย่าง ประเทศไทยมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่ทดสอบมาตรฐานบริภัณฑ์หรือวัสดุอุปกรณ์ไฟฟ้าคือ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรมได้ให้ตราสัญลักษณ์เครื่องหมาย TIS (Thai Industrial Standard) หรือ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ติดตัวผลิตภัณฑ์ เช่น มอก. 11–2553 คือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride; PVC) ประเภทบังคับสำหรับประเทศไทย เป็นต้น



TIS (ไม่บังคับ)



TIS (บังคับ)

2. มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าสากลมีรายละเอียดอย่างไรบ้าง ยกตัวอย่าง

ตอบ มาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าสากล หมายถึงมาตรฐานของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้า (Product Standard) หรือมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กลุ่มประเทศต่างๆ ได้ร่วมตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน อุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภทที่ต่างผู้ผลิตกันก็สามารถใช้งานทดแทนกันได้ โดยผ่านหน่วยงานที่ทำการตรวจสอบมีความน่าเชื่อถือ มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในกลุ่มประเทศ อุปกรณ์ที่ผ่านเกณฑ์ทดสอบตามมาตรฐานจะได้รับอนุญาตให้นำตรา หรือสัญลักษณ์ของหน่วยงานที่ทำการทดสอบมาติดไว้บนตัวผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ยกตัวอย่าง • IEC (International Electro Technical Commission) เป็นหน่วยงานระหว่างประเทศ เช่น IEC 60898 “มาตรฐานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เหมาะสำหรับใช้งานในบ้านอยู่อาศัย และอาคารทั่วไป กำหนดขนาดสูงสุดไว้ไม่เกิน 125 AT แบ่งตามความสามารถในการตัดกระแสด้วยอำนาจแม่เหล็กออกเป็น 3 แบบคือแบบ B, C และ C (Circuit Breakers for Overcurrent Protection for Household and Similar Installations)” เป็นต้น



IEC

3. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าประจำชาติมีรายละเอียดและข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าประจำชาติในประเทศอุตสาหกรรมต่างมีมาตรฐานของตนเองมานานแล้ว โดยมาตรฐานประจำชาติของแต่ละประเทศต่างร่างขึ้นใช้ภายในประเทศของตนเอง เพื่อให้ตรงและสอดคล้องกับวิธีปฏิบัติของตนเอง โดยข้อกำหนดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมของประเทศ นั้น ๆ ด้วย ซึ่งปัจจุบันมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าประจำชาติได้ลดความสำคัญลงมาก เนื่องจากมาตรฐานประจำชาติถือเป็นกำแพงการค้าอย่างหนึ่ง หลายๆ ประเทศจึงได้พยายามปรับปรุงมาตรฐานประจำชาติของตนเองใหม่ให้ตรงตามมาตรฐานสากล และหลายประเทศได้ยกเลิกมาตรฐานของตนเองโดยนำมาตรฐานสากลทั้งฉบับมาใช้เป็นมาตรฐานประจำชาติของตน สำหรับประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้นำมาตรฐานสากล IEC และมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา NEC บางส่วนมาปรับปรุงเขียนเป็นมาตรฐานไทย ได้แก่มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2564 (ฉบับล่าสุด) หรือ วสท. EIT Standard 022001-22 (The Engineering Institute of Thailand)

4. จงให้ความหมายของมาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission)

ตอบ มาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission) คือเป็นองค์กรระหว่างประเทศที่ร่างมาตรฐานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ และโดยขณะนี้ IEC มีประเทศสมาชิกเกือบทุกประเทศในโลกแล้ว 20 การออกแบบระบบไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) หรือ Thai Industrial Standards Institute (TISI) โดยเข้าร่วมเป็นสมาชิกประเภทสมบูรณ์ (Full Member) กับ องค์กรฯ เมื่อ พ.ศ. 2534

5. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าที่เป็นสากลที่นิยมใช้อ้างอิง มีมาตรฐานอะไรบ้าง

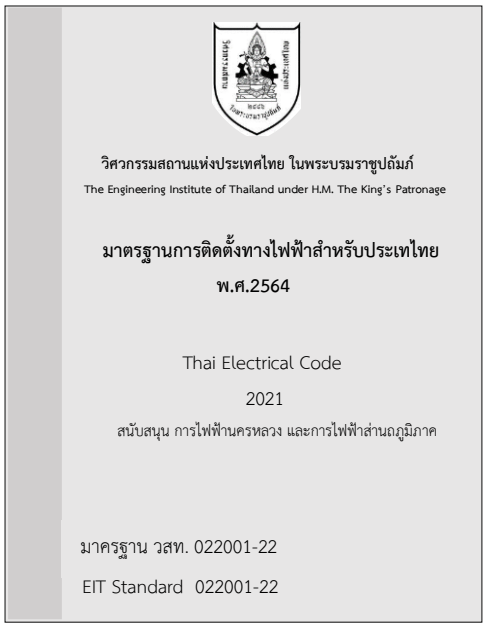
ตอบ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าที่เป็นสากลที่นิยมใช้อ้างอิง คือ มาตรฐาน IEC มี 7 ฉบับ ได้แก่

1. IEC 60364 “Electrical Installation of Buildings”
2. IEC 60364–1 “Scope, Object and Definitions”
3. IEC 60364–2 “Fundamental Principles”
4. IEC 60364–3 “Assessment of General Characteristics”
5. IEC 60364–4 “Protection for Safety”
6. IEC 60364–5 “Selection and Erection of Electrical Equipment”
7. IEC 60364–7 “Requirement for Special Installations or Locations”

6. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 มีสาระสำคัญอะไรบ้าง

ตอบ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยฉบับใหม่ (พ.ศ. 2564) มีเนื้อเช่นเดียวกับ วสท. 2565 แต่มีปรับปรุงเล็กน้อยเพื่อให้สอดคล้องในการปฏิบัติ และมีความปลอดภัยมากขึ้น โดยหาส่วนใหญ่แปลและ

เรียบเรียงมาจากมาตรฐาน IEC และ NEC แบ่งเป็น 14 บทเรียน โดยบทที่ 1–6 เป็นมาตรฐานหลักสำหรับงานออกแบบและงานติดตั้งทางไฟฟ้า ส่วนบทเรียนที่เหลือใช้เป็นมาตรฐานเสริม เช่นกัน



บทที่ 1 นิยามและข้อกำหนดทั่วไป
บทที่ 2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า
บทที่ 3 ตัวนำประธาน สายป้อน วงจรย่อย
บทที่ 4 การต่อลงดิน
บทที่ 5 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ
บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า
บทที่ 7 บริเวณอันตราย
บทที่ 8 สถานที่เฉพาะ
บทที่ 9 อาคารชุด อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ
บทที่ 10 บริภัณฑ์เฉพาะงาน
บทที่ 11 มาตรฐานการทนไฟของสายไฟฟ้า
บทที่ 12 วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต
บทที่ 13 อาคารเพื่อการสาธารณะใต้ผิวดิน
บทที่ 14 การติดตั้งไฟฟ้าชั่วคราว

7. สายไฟฟ้าใหม่ มอก. 11–2531 (ฉบับเดิม) สามารถอ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ได้หรือไม่ อย่างไร

ตอบ ด้วยมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ใช้สายไฟฟ้าใหม่ มอก. 11–2553 ซึ่งอ้างอิงเป็นไปตาม มาตรฐาน IEC 60227 มีผลบังคับแต่วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 นั้น การออกแบบติดตั้งต้องอ้างอิงมาตรฐานใหม่นี้เท่านั้น สำหรับในทางปฏิบัติหากมีสายไฟฟ้าผลิตตามมาตรฐานเดิม มอก. 11–2531 รวมอยู่ด้วยอนุโลมให้ใช้ขนาดกระแสของสายตามตารางในมาตรฐาน วสท. พ.ศ. 2564 ได้ (ตารางพิกัดสายเดียวกันกับ วสท.2556) ทั้งนี้สายไฟฟ้าผลิตตามมาตรฐานเดิม (มอก. 11–2531) จะค่อยๆ หมดไปในที่สุด

8. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย อ้างอิงมาจากแหล่งใดบ้าง

ตอบ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท. หรือ EIT) ด้วยความร่วมมือจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้จัดขึ้นเพื่อให้ทั้งประเทศมีมาตรฐานเรื่องการติดตั้งระบบไฟฟ้าฉบับเดียวกัน เนื้อหาส่วนใหญ่อ้างอิงมาจากมาตรฐาน IEC และ NEC เป็นหลัก

9. เปิดโล่ง (Exposed) เมื่อใช้กับส่วนที่มีไฟฟ้าหมายถึงอะไร

ตอบ เปิดโล่ง (Exposed) เมื่อใช้กับส่วนที่มีไฟฟ้า หมายถึงสภาพที่บุคคลสามารถสัมผัสหรือเข้าไปใกล้เกินระยะปลอดภัยโดยพลั้งเผลอได้ รวมถึงส่วนที่ไม่มีการกั้น ไม่มีการแยกออก หรือการไม่มีฉนวนอย่างเหมาะสม

10. ที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้าหมายถึงอะไร และมีข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ หมายถึงที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีโอกาสตรวจสอบ ปรับแต่ง หรือบำรุงรักษาขณะมีไฟ ต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.75 เมตรและไม่น้อยกว่าขนาดความกว้างของบริภัณฑ์ไฟฟ้า และที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานต้องพอเพียงสำหรับการเปิดประตูตู้หรือฝาตู้ได้อย่างน้อย 90 องศาในทุกกรณี

11. ทางเข้าที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานหมายถึงอะไร และมีข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ หมายถึงต้องมีทางเข้าขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร และสูงไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร ที่จะเข้าไปถึงที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้อย่างน้อยหนึ่งทางสำหรับแผงสวิตช์และแผงควบคุมที่มีพิกัดกระแสตั้งแต่ 1,200 แอมแปร์ขึ้นไป และกว้างเกิน 1.80 เมตร ต้องมีทางเข้าทั้งสองข้างของแผงที่มีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.60 เมตรและความสูงไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

ข้อยกเว้นที่ 1 ถ้าด้านหน้าของแผงสวิตช์หรือแผงย่อยเป็นที่ว่าง สามารถออกไปยังทางเข้าได้โดยตรงและไม่มีสิ่งกีดขวาง อนุญาตให้มีทางเข้าที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานทางเดียวได้

ข้อยกเว้นที่ 2 ในกรณีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานมีความลึกเป็น 2 เท่าที่กำหนด มีทางเข้าที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานทางเดียวได้ ทางเข้าต้องอยู่ห่างจากแผงสวิตช์หรือแผงย่อยไม่น้อยกว่าที่กำหนดด้วย

12. มาตรฐานระดับการป้องกัน IP67 หมายถึงอะไร และเทียบมาตรฐาน NEMA ได้ระดับใด

ตอบ IP67 หมายถึง ป้องกันผนึกกันฝุ่นและป้องกันน้ำท่วมได้ชั่วคราว เทียบมาตรฐาน NEMA ได้ระดับ 6 and 6P

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้า

1. ค่าพิกัดของฟิวส์แรงดันต่ำที่ควรทราบมีค่าอะไรบ้าง อย่างไร

ตอบ ค่าพิกัดของฟิวส์แรงดันต่ำที่ควรทราบมีดังนี้

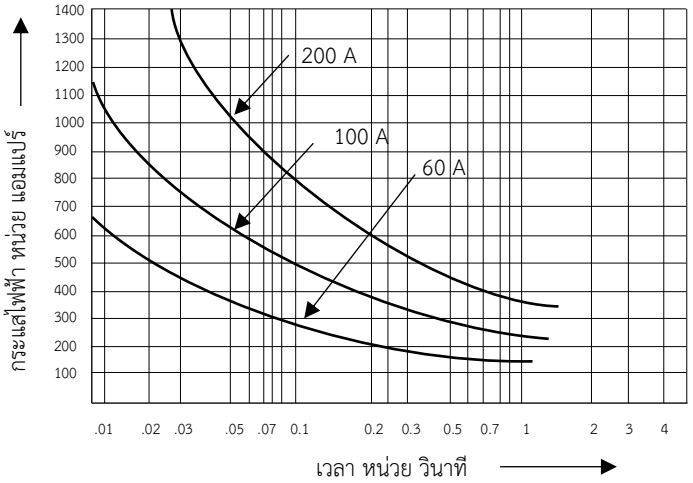
1) พิกัดแรงดัน (voltage rating) คือค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานของฟิวส์ จะกำหนดมาที่ตัวฟิวส์ห้ามนำฟิวส์ไปใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าที่กำหนด ค่าแรงดันที่กำหนดส่วนใหญ่จะระบุเป็นค่าค่าประสิทธิผลหรือค่าที่มิเตอร์วัดได้ (Vrms)

2) พิกัดกระแส (current rating) คือค่ากระแสไฟฟ้าต่อเนื่องที่ไหลผ่านฟิวส์โดยไม่ทำให้ฟิวส์เสียสภาพการใช้งาน จะกำหนดมาที่ตัวฟิวส์เช่นกัน ค่ากระแสที่กำหนดนี้ ส่วนใหญ่จะระบุเป็นค่าค่าประสิทธิผลหรือค่าที่มิเตอร์วัดได้เช่นกัน (Irms) ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องทราบกระแสใช้งานสูงสุดด้วย เพื่อจะได้เลือกพิกัดฟิวส์ให้เมาะสม

3) โหลดเกิน (overload) หมายถึง การใช้งานเกินพิกัดของกระแสฟิวส์ โดยทั่วไปมีคาประมาณ 1-5 เท่าของพิกัดกระแสฟิวส์ ค่าโหลดเกินนี้มีไว้สำหรับการใช้งานกับบริภัณฑ์บางชนิดหรือเผื่อไว้สำหรับกระแสเริ่มเดินหรือกระแสล็อกโรเตอร์ของมอเตอร์ด้วย ฟิวส์จะใช้งานโหลดเกินได้ระยะหนึ่ง

4) หน่วงเวลา (time delay) หมายถึงระยะเวลาที่ฟิวส์ขาดช้ากว่ากำหนด โดยทั่วไปค่านี้จะเป็นมาตรฐานของผู้ผลิตเช่น ฟิวส์มาตรฐาน ANSI และ UL จะกำหนดค่าหน่วงเวลาสูงสุดไว้ที่ 10 วินาที เมื่อกระแสโหลดเกินค่า 5 เท่าของพิกัดกระแสฟิวส์ เพื่อใช้สำหรับกระแสเริ่มเดินมอเตอร์

5) ระยะเวลาตัดกระแส (clearing time) หมายถึง เป็นช่วงเวลาที่นับจากที่ฟิวส์เริ่มมีกระแสไหลเกินจนถึงเวลาที่ฟิวส์ขาดและอาร์กถูกดับแล้ว ปกติจะกำหนดในรูปของเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกระแส เรียกเส้นโค้งเวลา-กระแส (time-current characteristic curve) ดังรูปการอ่านค่าเมื่อทราบกระแสที่ไหลผ่านฟิวส์ให้เป็นแกน Y ลากเส้นตามแนวนอนไปตัดกับเส้นขนาดฟิวส์ที่เลือกใช้ที่จุดตัดนี้ลากเส้นตั้งฉากลงมาตัดกับแกน x จะได้ค่าของระยะเวลาการตัดกระแส เส้นโค้งนี้เปลี่ยนแปลงตามมาตรฐานและผู้ผลิต



รูปตัวอย่างเส้นโค้งเวลา-กระแส (time-current characteristic curve) ของฟิวส์

6) พิกัดตัดกระแสลัดวงจร (interrupting capacity) หรือเรียกย่อว่า กระแส IC คือค่าพิกัดตัดกระแสสูงสุดที่ฟิวส์จะทำงานตัดกระแสได้อย่างปลอดภัย จะกำหนดไว้ที่ตัวฟิวส์เป็นค่าประสิทธิผลหรือค่าที่มิเตอร์วัดได้ (Irms) หน่วยเป็นกิโลแอมแปร์ (kA) ค่านี้มีความสำคัญมากในการเลือกใช้งาน เนื่องจากถ้ามีค่ากระแสลัดวงจรตรงที่ติดตั้งฟิวส์มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดของฟิวส์แล้ว ฟิวส์ก็จะไม่สามารถตัดกระแสได้อย่างปลอดภัย อาจเกิดการอาร์กและระเบิดได้

2. ฟิวส์แรงดันต่ำจำกัดกระแส (HRC fuse) หมายถึงอะไร และมีหลักการทำงานอย่างไร

ตอบ HRC fuse หมายถึงฟิวส์ที่ทำหน้าที่ลดกระแสลัดวงจรให้มีค่าน้อยกว่าที่จะเกิดขึ้นจริง ซึ่งฟิวส์จะตัดกระแสลัดวงจรโดยสมบูรณ์ภายใน ¼ ไซเกิล (cycle) เท่านั้น ทั้งนี้จะทำหน้าที่เฉพาะอยู่ในช่วงจำกัดกระแสเท่านั้น

หลักการทำงานของฟิวส์จำกัดกระแสจะมีเส้นโค้งของเวลา-กระแสเช่นเดียวกับฟิวส์ทั่วๆไป แต่จะมีเส้นโค้งของกระแสที่ยอมให้ผ่านหรือเส้นโค้งป้องกันเพิ่มขึ้นมา ดังรูปด้านล่างลักษณะของเส้นโค้งนี้จะเปลี่ยนไปตามมาตรฐานของฟิวส์ ฟิวส์จำกัดกระแส ตามมาตรฐานของกลุ่มประเทศทางยุโรป (IEC, DIN) แบ่งได้ 2 ชนิด

ก) ชนิด g จะปลดวงจรเมื่อกระแสไหลผ่านฟิวส์มีค่าเท่ากับกระแสพิกัด

ข) ชนิด a จะปลดวงจรเมื่อกระแสไหลผ่านฟิวส์มีค่ามากกว่า (เป็นจำนวนเท่า) กระแสพิกัด

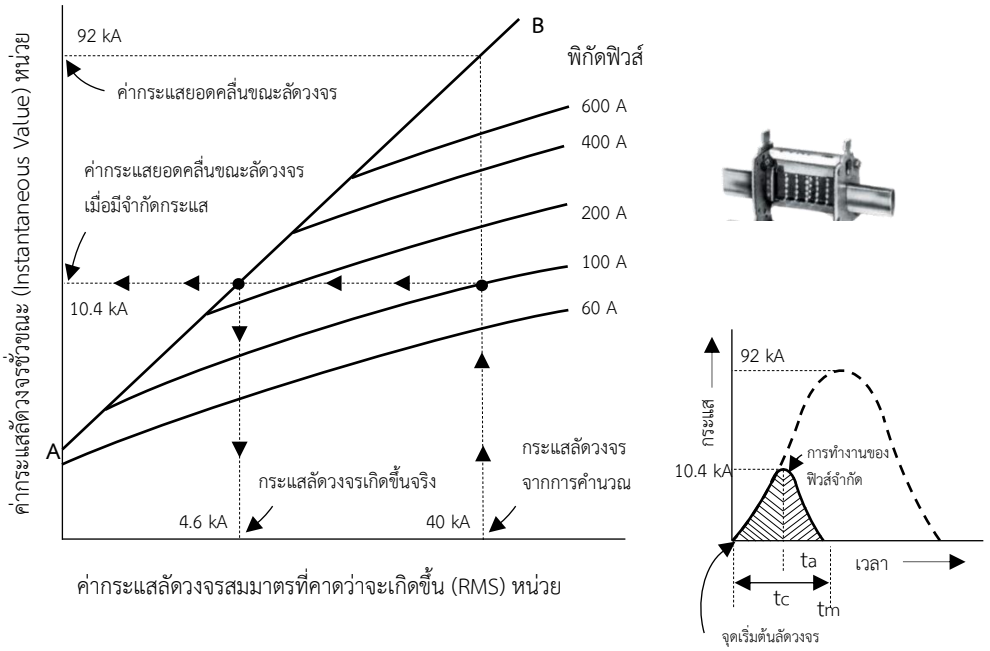
การเลือกนำไปใช้งาน เช่น

gL : เหมาะสำหรับใช้ป้องกันสายตัวนำไฟฟ้าทั่วไป

gR,aR : เหมาะสำหรับป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

gM : เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป

aM : เหมาะสำหรับป้องกันวงจรมอเตอร์



รูปตัวอย่างเส้นโค้งแสดงกระแสที่ยอมให้ผ่านของฟิวส์จำกัดกระแสขนาด 100 A

จากรูปสมมติว่าวงจรไฟฟ้าสายป้อนใช้ฟิวส์จำกัดกระแสขนาด 100 A เมื่อเกิดกระแสลัดวงจร 40 kA (จากการคำนวณ) ให้เป็นแกน X ลากเส้นตั้งฉากขึ้นไปตัดกับเส้นฟิวส์ขนาด 100 แอมแปร์ ที่จุดตัดนี้ลากเส้นตามแนวนอนไปตัดกับกับเส้นโค้งป้องกัน AB และแกน Y ที่จุดตัดกับแกน Y จะได้ค่ากระแสที่ยอมให้ไหลผ่านเป็นกระแสยอดคลื่นได้ประมาณ 10.4 kA และที่จุดตัดกับเส้นโค้งป้องกัน AB ลากตามแนวดิ่งลงมาตัดกับแกน X จะได้ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริง (Irms) อ่านค่าได้ประมาณ 4.6 kA ค่านี้หมายความว่า ฟิวส์ตัวอื่นที่ใช้ในวงจรเดียวกันนี้มีพิกัดตัดกระแสลัดวงจรไม่ต่ำกว่า 4.6 kA ก็พอทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ สำหรับค่ายอดคลื่นของกระแสลัดวงจรนั้น หาได้ค่าจากกระแสลัดวงจร 40 kA ให้เป็นแกน X ลากเส้นตั้งฉากขึ้นไปตัดกับเส้นโค้งป้องกัน AB ที่จุดตัดนี้ลากเส้นตามแนวนอนไปตัดกับแกน Y ที่จุดตัดกับแกน Y จะได้ค่ายอดคลื่นของกระแสลัดวงจรอ่านค่าได้ประมาณ 92 kA จากจุดนี้แสดงให้เห็นว่าฟิวส์จำกัดกระแสที่สามารถจำกัดกระแสไฟฟ้ายอดคลื่นขณะลัดวงจรให้ไหลผ่านตัวฟิวส์ต่ำกว่าค่ายอดคลื่นของกระแสลัดวงจร

3. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำหมายถึงอะไร และมีหลักการทำงานอย่างไร

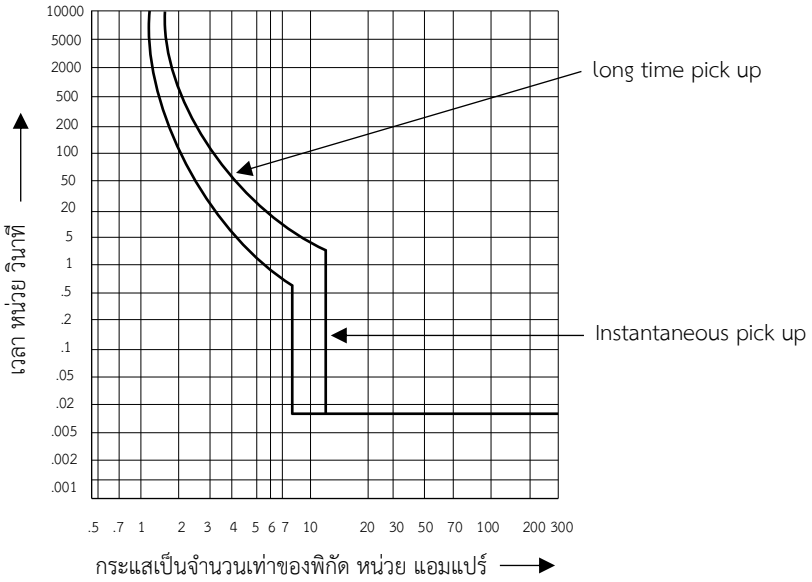
<u>ตอบ</u> เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำ หมายถึง อุปกรณ์ซึ่งถูกออกแบบให้ปิดและเปิดวงจรโดยไม่อัตโนมัติ และให้เปิดวงจรโดยอัตโนมัติเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกำหนด โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่เสียหายเมื่อใช้งานภายในพิกัด มีพิกัดแรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์

หลักการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ มี 3 แบบคือ

1) ทำงานด้วยความร้อน (thermal Trip) แบบนี้จะใช้หลักการขยายตัวของโลหะ 2 ชนิดที่ไม่เท่ากันเมื่อกระแสไหลผ่านจะเกิดความร้อนโลหะ 2 แผ่นจะขยายตัวไม่เท่ากันและจะไปดันกลไกให้ปลดวงจร เวลาในการทำงานจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านซึ่งเป็นการทำงานแบบเวลาผกผันคือกระแสไหลน้อยเวลาที่ปลดวงจรจะนานและเมื่อกระแสไหลมากเวลาที่ปลดก็จะเร็วขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการทำงานในวงจรที่อาจเกิดการโหลดเกิน (Over Load) ชั่วขณะ เช่นในการเริ่มเดินมอเตอร์หรือวงจรแสงสว่างประเภทดีสชาร์จเป็นต้น

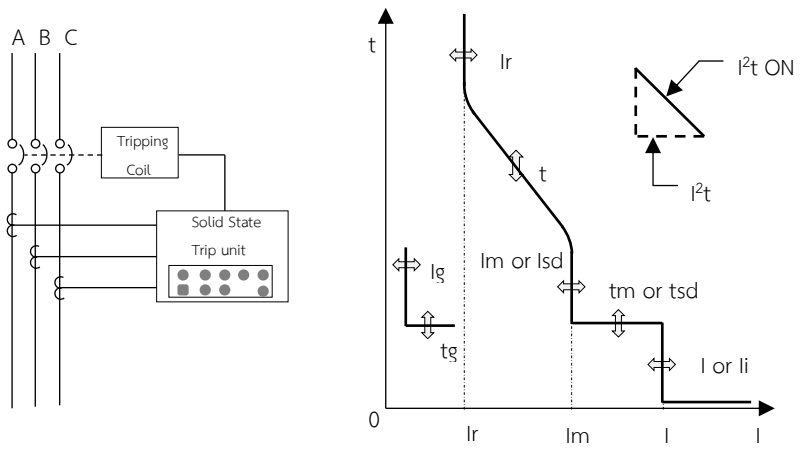
2) ทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก (magnetic trip) แบบนี้จะทำงานโดยอำนาจแม่เหล็กเมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดที่เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก ถึงค่าที่กำหนดแม่เหล็กก็จะดูดกลไกให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานปลดวงจร เวลาที่ทำงานจึงเกือบคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามกระแสที่ไหลผ่านซึ่งเป็นการปลดวงจรทันที (instantaneous trip) การทำงานแบบนี้จึงเหมาะที่จะปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร

เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปจะนำการทำงานทั้ง 2 แบบมารวมกันซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในวงจรทั่วไป เซอร์กิตเบรกเกอร์นี้จะมีเส้นโค้งเวลา-กระแสเช่นเดียวกับฟิวส์เพียงแต่ลักษณะของเส้นโค้งจะเปลี่ยนไปซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงทำงานด้วยความร้อน (long time pick up) และช่วงทำงานให้อำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า (Instantaneous pick up) ตัวอย่างของเส้นโค้งเวลา-กระแสแสดงในรูปด้านล่างซึ่งเส้นโค้งจะเปลี่ยนแปลงไปตามเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละรุ่น แต่ละมาตรฐาน



รูปตัวอย่างแสดงเส้นโค้งเวลา-กระแส ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3) ทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Trip) หรือเรียกว่า Solid State Trip เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้จะมีวงจรตรวจจับกระแสที่ทำงานได้เที่ยงตรงกว่าสองแบบแรกมาก จะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์วิเคราะห์ค่ากระแสเพื่อสั่งปลดวงจร ภายในจะมีหม้อแปลงกระแสทำหน้าที่แปลงกระแสให้มีขนาดต่ำลง โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่วิเคราะห์ค่าของกระแสที่ไหลผ่าน หากสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดก็จะสั่งให้ Tripping Coil ทำงานปลดวงจรทันที ทั้งยังสามารถปรับค่าต่างๆได้ทั้งค่าพิกัดกระแสและการหน่วงเวลา ดังรูปด้านล่าง ข้อพิเศษของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ คือตรวจจับกระแสในวงจรที่มี ฮาร์มอนิกสูงๆได้แม่นยำมาก ซึ่งนิยมให้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ๆ เช่น แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นต้น



รูปตัวอย่างเส้นโค้งเวลา-กระแส ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Solid State Trip

จากรูปความหมายการปรับค่าต่าง ๆ ของ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Solid State Trip ดังนี้

Io หรือ In = ค่าพิกัดกระแสใช้งาน (Rated operational current)

Ir = ค่ากระแสปรับตั้งโหลดเกินหน่วงเวลา (Overload protection long Time)

tr = ค่าหน่วงเวลานาน (Long time delay)

Im หรือ Isd = ค่ากระแสปรับตั้งปลดวงจรช่วงสั้น (Short time tripping setting current)

tsd = ค่าหน่วงเวลาช่วงสั้น (Short time delay)

I หรือ Ii = ค่ากระแสปรับตั้งปลดวงจรทันที (Instantaneous tripping setting current) ไม่มีหน่วงเวลา

Ig = ค่าปรับตั้งกระแสรั่วลงดิน (ground fault setting current)

tg = ค่าปรับตั้งหน่วงเวลาทริปกระแสรั่วลงดิน (ground fault setting time delay)

4. ค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ควรทราบมีค่าอะไรบ้าง และรายละเอียดอย่างไร

ตอบ ค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ควรทราบมีดังนี้

1) พิกัดแรงดัน (voltage rating , **U**) คือค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะกำหนดมาที่ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ ห้ามนำเซอร์กิตเบรกเกอร์ไปใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าที่กำหนด ค่าแรงดันที่กำหนดส่วนใหญ่จะระบุเป็นค่าค่าประสิทธิผลหรือค่าที่มิเตอร์วัดได้ (Vrms)

2) พิกัดกระแสทริบ (Ampere Trip , **AT**) หรือเรียก แอมแปร์ทริบ คือค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าใช้งานต่อเนื่องที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยไม่ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจร (Trip) จะกำหนดมาที่ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นค่าที่มิเตอร์วัดได้เช่นกัน (Irms) ค่าพิกัดกระแสใช้งานนี้หากเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดสูงๆ มักผลิตเป็นแบบอิเล็กทรอนอกส์ที่สามารถปรับแอมแปร์ทริบได้ จะใช้สัญลักษณ์ ” **In** “ (Rated Current) หมายถึงค่าพิกัดกระแสใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่กำหนดโดยผู้ผลิตเป็นไปตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ

3) พิกัดกระแสแฟรม (Ampere Frame , **AF**) หรือเรียก แอมแปร์แฟรม คือค่าพิกัดกระแสของตัวโครงเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ออกแบบไว้เป็นช่วงๆ โดยแต่ละช่วงนี้จะทำการปรับค่าแอมแปร์ทริบให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน แต่ต้องไม่เกินค่าแอมแปร์แฟรม เช่นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 250 แอมแปร์แฟรม อาจปรับค่าแอมแปร์ทริบ เป็น 80A, 100A, 125A, 160A, 200A และ 250A ซึ่งค่า AF นี้ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตเป็นไปตามมาตรฐานของแต่ละประเทศเช่นกัน

4) พิกัดตัดกระแสลัดวงจร (interrupting capacity) หรือเรียกย่อว่า กระแส IC คือค่าพิกัดตัดกระแสสูงสุดที่เซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานตัดกระแสได้อย่างปลอดภัย มีความหมายเดียวกับค่ากระแส IC ของตัวฟิวส์ แต่ขนาดจะต่ำกว่ามาก กำหนดไว้ที่ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นค่าที่มิเตอร์วัดได้ (Irms) หน่วยเป็น kA เช่นกัน

5. จงบอกความหมายของพิกัดกระแสลัดวงจรของสัญลักษณ์ต่อไปนี้ Icn, Icu, Ics และ Icw

ตอบ **ค่า Icn, Icu, Ics และ Icw เป็น**ค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดสูงๆ ที่ผลิตเป็นแบบอิเล็กทรอนอกส์มีความหมายดังนี้

Icn : หมายถึงพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Rated Short-Circuit Capacity) คือพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดได้ค่านี้จะกำหนดโดยผู้ผลิต

Icu : หมายถึงพิกัดตัดกระแสลัดวงจรสูงสุด (Rated Untimate Short-Circuit Breaking Capacity) คือพิกัดตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรแล้วจะไม่คำนึงว่าจะใช้งานปกติได้อย่างต่อเนื่องในภายหลังหรือไม่ หมายถึงยังสามารถใช้งานได้ต่อไปแต่สมบัติการใช้งานอาจเปลี่ยนไป

Ics : หมายถึงพิกัดตัดกระแสลัดวงจรใช้งาน (Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity) คือพิกัดตัดกระแสลัดวงจรที่หลังจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรแล้วจะต้องใช้งานได้ปกติอย่างต่อเนื่อง ปกติค่า Ics จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ Icn การกำหนดจะกำหนดเป็นจำนวนเท่าหรือเปอร์เซนต์ของ Icu เช่น 50% ,75% หรือ 100% ของ Icu เป็นต้น

Icw : หมายถึงพิกัดกระแสทนช่วงเวลาสั้น (Rated Short-time Withstand Current) คือกระแสลัดวงจร Irms ที่เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถทนได้ตลอดระยะเวลาการหน่วงเวลา ปกติระยะเวลาการหน่วงเวลาจะเป็น 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 และ 1 วินาที

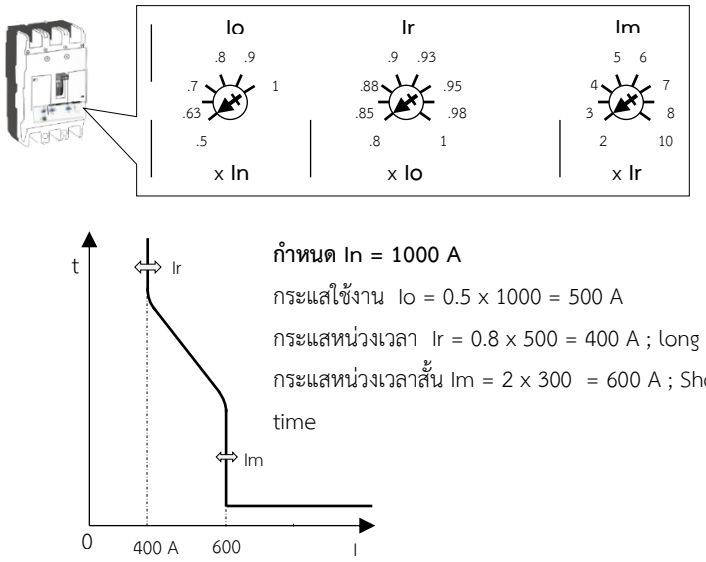
6. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำสามารถแบ่งได้เป็นกี่ประเภท และแต่ละประเภทมีรายละเอียดอย่างไร

ตอบ เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำแบ่งเป็น 3 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

1) มินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Miniature Circuit Breaker , MCB) คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็กเหมาะสำหรับใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันวงจรย่อยในแผงย่อย (Panel Boards) เช่นในตู้ Load Center หรือตู้ Consumer มีพิกัดแรงดัน 240/415 Vac พิกัดกระแสใช้งานระหว่าง 6 AT ถึง 125 AT และมีค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรตั้งแต่ 3 kA ถึง 25 kA มีให้เลือกทั้งตั้งแต่ 1 ขั้ว (Pole) ถึง 4 ขั้ว โดยทั่วไปมินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ มีการป้องกัน 2 แบบคือแบบ Bimetal และแบบ Electromagnetic coil เพื่อตัด

วงจรอัตโนมัติเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกินพิกัดและเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามลำดับ หรืออาจเรียกฟังก์ชั่นการป้องกันทั้ง 2 ลักษณะรวมกันว่า Thermomagnetic Trip ก็ได้

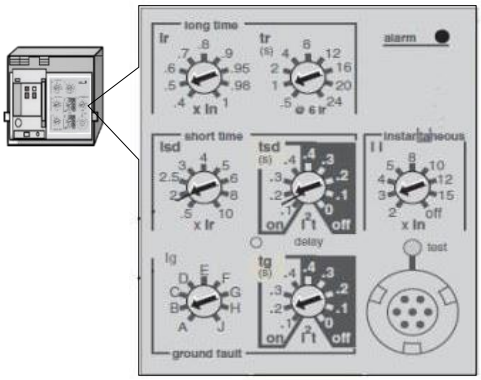
2) โมลด์เดสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Mold Case Circuit Breaker , MCCB) คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ห่อหุ้มปิดมิดชิดโดย Molded จำนวนสองส่วนมักทำด้วย phenolic ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันใช้งานได้ผ่านทำการทดสอบ Dielectric Strength โมลด์เดสเซอร์กิตเบรกเกอร์เหมาะสำหรับใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันวงจรสายป้อนหรือสายประธานในแผงเมนสวิทช์ มีพิกัดแรงดัน 380/415 Vac พิกัดกระแสใช้งานระหว่าง 10 AT ถึง 1,600 AT และมีค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรตั้งแต่ 1.5 kA ถึง 100 kA มีให้เลือกทั้งตั้งแต่ 1 ขั้ว (Pole) ถึง 4 ขั้ว และสามารถเลือกรูปแบบฟังก์ชั่นการทริปได้ทั้ง Thermomagnetic Ttip และ Electronic Trip โดย MCCB บางรุ่นสามารถปรับตั้งค่าป้องกันกระแสโหลดเกิน ค่าป้องกันกระแสลัดวงจรแบบหน่วงเวลา (Short circuit with delay time) ค่าค่าป้องกันกระแสลัดวงจรแบบทันทีทันใด (Instantaneous Trip) และค่าป้องกันกระแสรั่วลงดิน (ground fault) ได้อีกด้วย ตัวอย่างการปรับตั้งดังรูปด้ายล่าง



รูปโมลด์เดสเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบบ Electronic Trip

3) แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker , ACB) คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ ทำงานด้วยระบบ Electronic Trip หรือ solid state Trip เหมาะสำหรับใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันระบบสายประธานบนแผงเมนสวิทช์ เนื่องจากสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรตัวอื่นที่ต่ออนุกรมอยู่ด้านโหลดในขณะที่มีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้นได้ดี แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์มีพิกัดกระแสใช้งาน (In) ระหว่าง 800 A – 6,300 A ค่าพิกัดตัดแระแสลัดวงจรสูงสุด (Icu) ตั้งแต่ 42 kA – 150 kA พิกัดแรงดันสูงถึง 690 Vac มีให้

เลือกทั้งตั้งแต่ 3 ขั้ว ถึง 4 ขั้ว มีหลักการทำงานแบบโมลด์เดสเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบบ Electronic Trip สำหรับรหัสเรียกค่าพิกัดปรับตั้งในตัวแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ดังตัวอย่างรูปด้านล่าง



กำหนด In = 1600 A

long time

กระแสหน่วงเวลา Ir = 0.5 x 1600 = 800 A

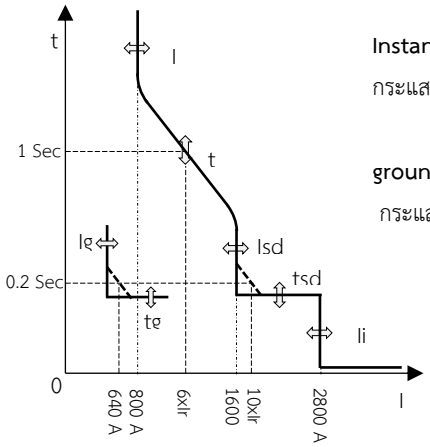
หน่วงเวลา tr = 1Sec (at 6xIr)

กระแสหน่วงเวลา Ir = 0.5 x 1600 = 800 A

Short time

กระแสปรับตั้งปลดวงจรช่วงสั้น Isd = 2 x 800 =1600

หน่วงเวลา tsd = 0.2 Sec (I^2t ON)



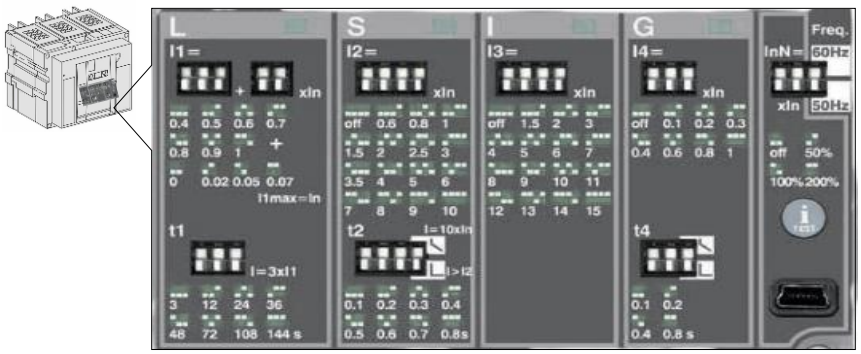
Instantaneous

กระแสปรับตั้งปลดวงจรทันที Ii = 3 x 1600 = 4800 A

ground fault

กระแสรั่วลงดิน Ig = B = 640 A (ตารางที่ 2.5)

รูปตัวอย่างการปรับค่าพิกัดต่างๆของแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ผลิตภัณฑ์หนึ่ง



รหัสการปรับค่าดิปสวิทช์ (Dip Switch) ของอีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง

รหัส L = ปรับค่าพิกัดตัดกระแสโหลดเกิน (Overload protection)

I1 = (0.4-1.0)In และหน่วงเวลา t1=3-144s

รหัส S = ปรับค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Short-circuit selective protection)

I2 = (0.6-10)In และหน่วงเวลา t2= 0.1- 0.8s ซึ่งหาก off เวลาจะผกผันที่ I = 10In

รหัส I = ปรับค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรปลดทันที (Short-circuit instantaneous protection)

I3 = (1.5 -10)In ไม่มีหน่วงเวลา ซึ่งหาก off พิกัดตัดกระแสลัดวงจร I3 = In

รหัส G = ปรับค่าพิกัดกระแสรั่วลงดิน (Earth fault protection)

I4 = (0.1 -1.0)In และหน่วงเวลา t4= 0.1-0.8s ซึ่งหาก off เวลาจะผกผันที่ I4 = In

รูปตัวอย่างการปรับค่าพิกัดต่างๆของแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์อีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง

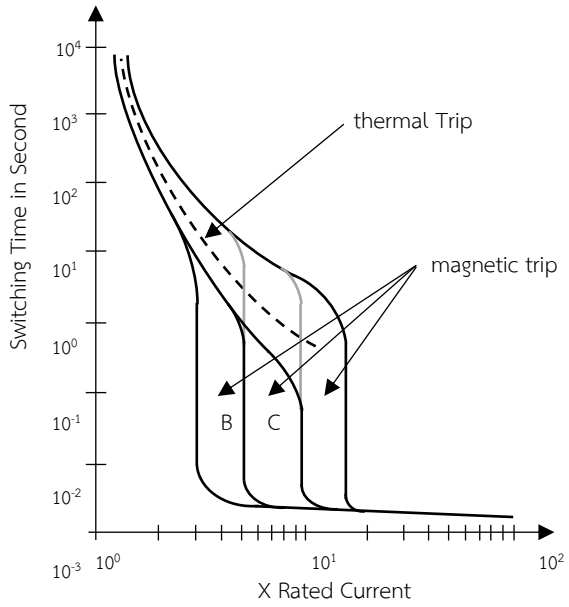
7. มาตรฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์ IEC 60898 มีรายละเอียดอย่างไร

ตอบ มาตรฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์ IEC 60898 เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับบ้านอยู่อาศัยและอาคารทั่วไป มีแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไม่เกิน 440 โวลต์ความถี่ 50 หรือ 60 Hz พิกัดกระแสไม่เกิน 125 A และพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรไม่เกิน 25 kA จำนวนขั้วอาจมีได้ตั้งแต่ 1 ถึง 4 ขั้ว สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามความสามารถในการตัดกระแสไฟฟ้าเกินออกทันที (Instantaneous Tripping) กราฟแสดงเส้นโค้งเวลา-กระแส แสดงดังรูปด้านล่าง

ก) ประเภท B เป็นประเภทที่ตัดกระแสไฟฟ้าเกินออกทันทีช่วง > 3 In ถึง 5 In ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ไม่มีกระแสไฟกระโชก (inrush current) หรือ เสิร์จสวิตชิง (switching surge)

ข) ประเภท C เป็นประเภทที่ตัดกระแสไฟฟ้าเกินออกทันทีช่วง > 5 In ถึง 10 In ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าทั่วไปที่อาจมีกระแสไฟกระโชก (inrush current) เช่น ไฟแสงสว่างฟลูออเรสเซนต์,มอเตอร์เล็กๆ, เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

ค) ประเภท D เป็นประเภทที่ตัดกระแสไฟฟ้าเกินออกทันทีช่วง > 10 In ถึง 50 In ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไฟกระโชก(inrushcurrent) สูงเช่น เครื่องเชื่อม เครื่องเอกซเรย์ เป็นต้น



รูปตัวอย่างแสดงเส้นโค้งเวลา-กระแส ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภท B, C และ D

เซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 60898 หรือ IEC 898 นี้มีขนาดพิกัดกระแสใช้งาน (In) ดังนี้ : 6 , 8 , 10 , 13 (ไม่นิยม) , 16 , 20 , 25 , 32 , 40 , 50 , 63 , 80 , 100 และ 125 AT โดยรายละเอียดที่มีจำหน่ายตามตารางด้านล่างสำหรับที่ใช้ในประเทศไทยนิยมใช้คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภท C เช่น C20 หมายถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภท C ขนาดพิกัดกระแสใช้งาน 20 AT

ตารางพิกัดกระแสทริบ (AT) และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Icu) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 60898 หรือ IEC 898

พิกัดกระแสแฟรม (AF)	เซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน IEC 60898 หรือ IEC 898	
	พิกัดกระแสทริบ (AT)	พิกัดตักระแสลัดวงจร สูงสุด Icu (kA)
	ปรับตั้งไม่ได้	240V/415V
32	10, 16, 20, 25, 32	4.5
63	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63,	3, 4.5, 6, 10
100	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	10
125	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100,125	15, 25

8. มาตรฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์ IEC 60947–2 มีรายละเอียดอย่างไร

ตอบ มาตรฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์ IEC 60947–2 เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ใช้สำหรับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายที่ไม่เกิน 1000 VAC หรือ 1500 VDC เหมาะสำหรับการใช้งานโดยผู้มีความรู้ในการติดตั้งหรือปรับแต่งค่าต่างๆ ของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรืออุปกรณ์ประกอบของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามจุดมุ่งหมายในการทำงานร่วมกันกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวอื่น (selectivity) ที่ต่ออนุกรมอยู่ทางด้านโหลด ในขณะที่เกิดกระแสลัดวงจรได้ดังนี้

ก) ประเภท A เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงานทันที โดยไม่จงใจให้มีการหน่วงเวลา (short-time delay) ไม่เหมาะสำหรับการทางานร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรตัวอื่นที่ต่ออนุกรมอยู่ด้านโหลดในขณะที่มีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้น ดังนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จะไม่มีพิกัดกระแสทนช่วงเวลาสั้น (short-time withstand current, Icw)

ข) ประเภท B เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ออกแบบให้สามารถทางานร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรตัวอื่นที่ต่ออนุกรมอยู่ด้านโหลดในขณะที่มีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้น เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้อาจสามารถปรับตั้งระยะการหน่วงเวลาได้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จะมีพิกัดกระแสทนช่วงเวลาสั้น (short-time withstand current, Icw) ด้วย

สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 947-2 นี้ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยประเภท A และประเภท B ตามรายละเอียดตามตารางด้านล่างตามลำดับ

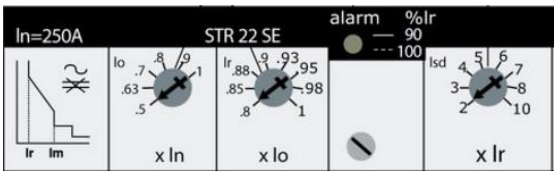
ตารางพิกัดกระแสทริบ(AT)และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Icu) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 947-2 ประเภท A

พิกัดกระแสแฟรม (AF)	เซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน IEC 60947-2 หรือ IEC 947-2 ประเภท A			
	พิกัดกระแสทริบ (AT)		พิกัดตักระแสลัดวงจรสูงสุด Icu (kA)	
	ปรับตั้งไม่ได้	ปรับตั้งได้	220/240V	380/415 V
30	10, 15, 20, 30,	-	2.5	1.5
32	10, 16, 20, 25, 32	-	7.5	5
63	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	-	7.5, 10, 20, 25, 30	5, 6, 10, 15
100	15, 16, 20, 25, 30, 32, 40, 50, 60, 63, 70, 75, 80, 100	16-100	10, 25	7.5, 10, 15, 25, 30
125	15, 16, 20, 30, 32, 40, 50, 60, 63, 70, 75, 80, 100, 125	16-125	10, 15	6, 10, 18, 25, 30, 36, 50
160	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	16-160	25, 40, 50, 85, 100	18, 25, 36, 50, 80
250	100, 125, 150, 160, 175, 200, 225, 250	100-250	25, 40, 50, 85, 100	18, 25, 36, 50, 80
400	250, 300, 320, 350, 400	200-400	-	36, 50, 70, 80
630	400, 500, 630	300-630	-	50, 70, 80
800	-	400-800		50, 70, 80
1,000	-	500-1,000	-	36, 50, 80
1,250	-	630-1,250	-	50, 80
1,600	-	800-1,600	-	50, 80

ตารางพิกัดกระแสทริบ(AT)และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Icu) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 947-2 ประเภท B

พิกัดกระแสแฟรม (AF)	เซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน IEC 60947-2 หรือ IEC 947-2 ประเภท B				
	ย่านการปรับตั้งพิกัดกระแสทริบ (AT) และหน่วงเวลา				พิกัดตัดกระแสลัดวงจรสูงสุด Icu (kA) 240/415V
	หน่วงเวลานาน (LTD)	หน่วงเวลาสั้น (STD)	ทริปทันที (Ii)	กระแสรั่วลงดิน (Ig)	
800	Ir = xIn	Isd = x Ir	Ii = xIn	Ig =A,B,C,D,E,F,G,H,I =500,630,720, 800,880,960, 1,040, 1,125, 1,200 เมื่อ In >= 1,250 A tg = 0.1-0.4s	42, 50, 85
1,000	Ir = (0.4-1)In	Isd = (1.5-10) Ir	Ii = (2-15)In และ off		42, 50, 85
1,250	tr = 0.4-24s	tsd = 0.1-4s			42, 50, 85
1,600		on = เวลาตายตัว			42, 50, 85
2,000		on = เวลาผกผัน			66, 75, 85, 100
2,500					66, 75, 85, 100
3,150					66, 75, 85, 100
3,200					66, 75, 85, 100

9. Mold Case Circuit Breaker (MCCB) ขนาด In = 250 A ปรับตั้งค่าดังในรูปต่อไปนี้ จงระบุพิกัดกระแสใช้งาน (Io) พิกัดตัดกระแสโหลดเกิน (Ir) และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Im or Isd)



<u>ตอบ</u>

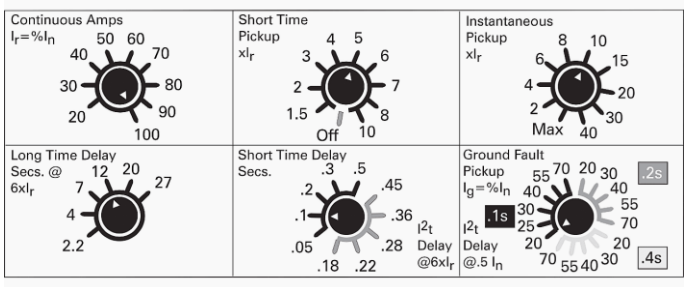
กำหนด In = 250 A

พิกัดกระแสใช้งาน Io = 0.5 x 250 = 125 A

พิกัดตัดกระแสโหลดเกิน Ir = 0.8 x 125 = 100 A ; long time

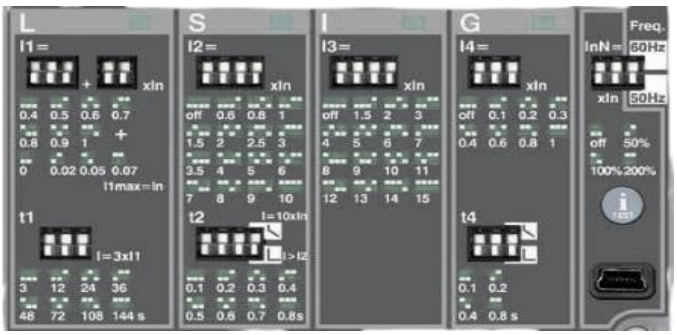
พิกัดตัดกระแสลัดวงจร Im = 2 x 100 = 200 A ; Short time

10. Air Circuit Breaker (ACB) ขนาด In = 1600 A มี 2 ผลิตภัณฑ์ ปรับตั้งค่าดังในรูปต่อไปนี้



ผลิตภัณฑ์ที่ 1

ผลิตภัณฑ์ที่ 2



จงระบุค่าต่างๆ ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์

10.1 ค่าพิกัดตัดกระแสโหลดเกิน (Ir) และเวลาหน่วง (tr) ช่วงหน่วงเวลานาน (Long Time)

10.2 ค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Isd) และเวลาหน่วง (tsd) ช่วงหน่วงเวลาสั้น (Short Time)

10.3 ค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรปลดทันที (Ii) ช่วงปลดทันที (Instantaneous)

10.4 ค่าพิกัดกระแสรั่วลงดิน (Ig) และเวลาหน่วง (tg) ช่วงความผิดพร่องลงดิน (Ground Fault)

ตอบ

ผลิตภัณฑ์ที่ 1

กำหนด In = 1600 A

ช่วงหน่วงเวลานาน (Long Time)

ค่าพิกัดตัดกระแสโหลดเกิน Ir = 100% x 1600 = 1600 A และหน่วงเวลา tr = 12 Sec (at 6xIr)

ช่วงหน่วงเวลาสั้น (Short Time)

ค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจร Isd = 5 x 1600 =8000A หน่วงเวลา tsd = 0.1 Sec (I^2t on at 6xIr)

ช่วงปลดทันที (Instantaneous)

ค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรปลดทันที Ii = 10 x 1600 = 16000 A

ช่วงความผิดพร่องลงดิน (Ground Fault)

ค่าพิกัดกระแสรั่วลงดิน Ig = 20% x 1600 =320 A หน่วงเวลาทริป tg = 0.1 Sec (I^2t on at 5xIn)

ผลิตภัณฑ์ที่ 2

กำหนด In = 1600 A

ช่วงหน่วงเวลานาน (Long Time)

ค่าพิกัดตัดกระแสโหลดเกิน Ir (I1) = 0.4 x 1600 = 640 A หน่วงเวลา tr = 3 Sec (at 3xIr)

ช่วงหน่วงเวลาสั้น (Short Time)

ค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจร Isd (I2) = 10x1600 =16000 A (off) หน่วงเวลา tsd = 0.1Sec (I^2t out) ช่วงปลดทันที (Instantaneous)

ค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรปลดทันที Ii (I3) = In = 1600 A (off) ไม่มีหน่วงเวลา

ช่วงความผิดพร่องลงดิน (Ground Fault)

ค่าพิกัดกระแสรั่วลงดิน Ig (I4) = In = 1600 A (off) หน่วงเวลาทริป tg = 0.1 Sec (I^2t out)

11. เครื่องตัดกระแสรั่วมีกี่ชนิด และแต่ละชนิดมีหลักการทำงานอย่างไร

<u>ตอบ</u> เครื่องตัดกระแสรั่ว (Residual Current Device, RCD) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำ มีหลายชนิดหลายชื่อ ซึ่งมีหลักการทำงานที่คล้ายกัน คือ

1. เครื่องตัดไฟรั่ว RCD (Residual Current Device) เป็นเครื่องตัดไฟฟ้าอัตโนมัติที่จะตัดกระแสไฟฟ้าภายในระยะเวลาที่กำหนด เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าและออกมีค่าไม่เท่ากัน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ

1.1 แบบมีการป้องกันกระแสเกิน (Residual Current Circuit Breaker with Overload Protection; RCBO)

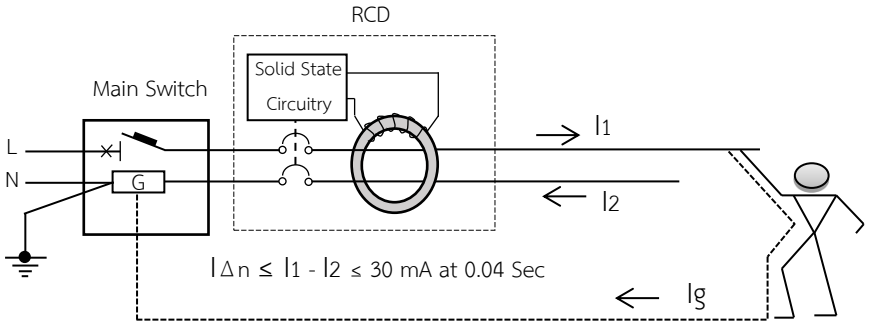
1.2 แบบไม่มีการป้องกันกระแสเกิน (Residual Current Circuit Breaker Without Overload Protection; RCCB)

2. เครื่องตัดไฟรั่วลงดิน ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับไฟฟ้ารั่วและทำการตัดไฟ

3. เครื่องตัดวงจรเมื่อผิดพร่องลงดิน GFCI (Ground Fault Circuit Breaker Interrupters)

เครื่องตัดกระแสรั่วจะทำงานโดยอาศัยหลักการกระแสไหลเข้ากับกระแสไหลออกต้องมีค่าเท่ากัน ซึ่งเป็นสภาพการใช้งานปกติ กระแสไฟในเส้น L (I_1) และ N (I_2) มีค่าเท่ากัน ในสภาพเช่นนี้สนามแม่เหล็กในแกนเหล็กจะมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งจะไม่มีสัญญาณในวงจรขยาย เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน (Earth leakage Current ; Ig) หรือไฟดูดคน กระแสส่วนหนึ่งจะไหลผ่านคนและกลับไปทางพื้นดินหรือสายดินแล้วแต่กรณี เป็นผลให้กระแสที่ไหลผ่านเครื่องตัดกระแสรั่วทั้งสองเส้นมีค่าไม่เท่ากัน จะทำให้มีสนามแม่เหล็กในแกนเหล็กวงจรขยายจะจับสัญญาณได้และจะขยายสัญญาณให้สูงพอที่จะทำให้ทริปคอยมีแรงดูดให้เครื่องปลดวงจรทำการปลดวงจรได้ เครื่องตัดกระแสรั่วก็จะทำงานปวดวงจรทันที ตามมาตรฐานเครื่องตัดกระแสรั่วต้องมีค่ากระแสรั่วที่กำหนด (rated residual operating current, $I\Delta n$) ไม่เกิน 30 mA และมีช่วงระยะเวลาใน

การตัด (break time หรือ operating time) ไม่เกิน 0.04 S ดังรูปด้านล่าง



รูปแสดงการติดตั้งเครื่องตัดกระแสรั่วที่ถูกตำแหน่ง

เครื่องตัดกระแสรั่วเป็นอุปกรณ์ป้องกันเสริมเท่านั้น ต้องมีระบบสายดินด้วยจึงจะมั่นใจได้ว่าปลอดภัย และเครื่องตัดไฟรั่วบางชนิดคุณสมบัติจะเปลี่ยนตามแรงดันไฟฟ้า ไวต่อแรงดันเกินชั่วขณะ (impulse) เช่นเมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือมีฮาร์มอนิก คุณสมบัติอาจเปลี่ยนหรือเสื่อมสภาพไป ตามอายุการใช้งาน การติดตั้งใช้งานต้องระมัดระวังแล้วต้องมีการทดสอบ <u>ข้อควรระวัง</u> วงจรที่ต่อหลังจากจุดที่ติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดินนี้ห้ามต่อฝากสายนิวทรัลกับสายดินอีกทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจ เพราะจะทำให้เครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดินทำงานผิดพลาดได้

12. ค่าพิกัดของฟิวส์คัตเอาต์ที่ควรทราบมีค่าอะไรบ้าง อย่างไร

<u>ตอบ</u> ค่าพิกัดของฟิวส์คัตเอาต์ที่ควรทราบ ได้แก่

1.พิกัดแรงดัน ฟิวส์คัตเอาต์ที่ใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ คือแรงดัน 12 kV, 24 kV และ 33 kV พิกัดแรงดันของฟิวส์คัตเอาต์ที่ใช้งานต้องไม่ต่ำกว่าแรงดันของระบบไฟฟ้า เช่นพิกัดแรงดัน 15 kV สำหรับระดับแรงดัน 11 และ 12 kV พิกัดแรงดัน 27 kV สำหรับระดับแรงดัน 22 และ 24 kV และพิกัดแรงดัน 38 kV สำหรับระดับแรงดัน 33 kV เป็นต้น พิกัดแรงดันอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามมาตรฐานการผลิต

2. พิกัดกระแส ตัวฟิวส์คัตเอาต์ ที่ใช้งานในประเทศไทยจะมีพิกัดกระแสอยู่ 2 ขนาดคือ 100 แอมแปร์ และ 200 แอมป์แปร์ ใส้ฟิวส์ที่ใช้ก็จะต้องมีขนาดหรือพิกัดกระแสไม่เกินพิกัดกระแสของฟิวส์ด้วย เช่น ฟิวส์คัตเอาต์ขนาด 100 แอมแปร์ก็จะใส่ไส้ฟิวส์ได้ขนาดหรือพิกัดกระแสสูงสุด 100 แอมแปร์ หรือฟิวส์คัตเอาต์ ขนาด 200 แอมแปร์ก็จะใส่ฟิวส์ได้ขนาดสูงสุด 200 แอมแปร์ เป็นต้น

3. ไส้ฟิวส์ ไส้ฟิวส์หรือฟิวส์ลิงค์ (fuse link) คือตัวที่ขาดเมื่อเกิดกระแสเกิน มาตรฐาน EEI-NEMA แบ่งไส้ฟิวส์ออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือชนิดทำงานเร็ว (ชนิด K, kwick) และชนิดทำงานช้า (ชนิด T, tardy) ปัจจุบันที่นิยมใช้จะเป็นชนิดทำงานเร็ว ไส้ฟิวส์มีขนาดต่างๆให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม รายละเอียดดังภาคผนวก ก.6 ซึ่งในประเทศไทยอาจมีจำหน่ายไม่ครบทุกขนาด

4. ค่าตัวแปร ฟิวส์คัตเอาต์ มีเส้นโค้งเวลา-กระแสเช่นเดียวกับฟิวส์แรงต่ำ ในการใช้งานลักษณะสมบัติต่างๆ อาจเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากตัวแปรหลายประการดังนี้

1) กระแสโหลดต่อเนื่อง เกิดจากมีกระแสโหลดไหลผ่านฟิวส์ทำให้อุณหภูมิของฟิวส์สูงขึ้นตามจำนวนกระแสที่ไหลผ่าน จะเป็นผลให้ฟิวส์ทำงานผิดพลาดไปจากที่กำหนดไว้ในเส้นโค้งได้ จึงควรพิจารณาเลือกใช้ให้ถูกต้อง

2) อุณหภูมิโดยรอบ ค่านี้จำเป็นในการเลือกไปใช้งานให้ตรงกับที่ต้องการ ค่าอุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนไป จะเป็นผลให้การทำงานของไส้ฟิวส์เปลี่ยนไปใน ทางปฏิบัติจึงควรเลือกพิกัดให้ถูกต้อง ซึ่งโดยปกติแล้วเส้นโค้งเวลา-กระแสที่บอกมาจะระบุค่าอุณหภูมิโดยรอบไว้ที่ตัวไส้ฟิวส์ด้วย เช่น 25 องศาเซลเซียสเป็นต้น

3) ค่าคลาดเคลื่อน หมายถึงค่าความผิดพลาดของตัวฟิวส์ กล่าวคือฟิวส์อาจขาดไม่ตรงกับค่าที่กำหนดไว้ในเส้นโค้งเวลากระแส ซึ่งอาจทำงานเร็วกว่าหรือช้ากว่าก็ได้ ค่านี้ไม่สามารถกำหนดหรือระบุได้โดยตรง อาจประมาณไว้ว่าระหว่าง 5 - 10 % เป็นต้น

ฟิวส์คัตเอาต์ ที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นฟิวส์ที่ผลิตตาม มาตรฐาน EEI-NEMA ซึ่งถ้าดูจากเส้นโค้งเวลา-กระแสแล้วจะพบว่าฟิวส์จะขาดที่กระแสประมาณ 2 เท่าของขนาดฟิวส์ ในทางปฏิบัติอาจกำหนดค่าใช้งานไว้ที่ประมาณ 150% ของขนาดฟิวส์ เช่นฟิวส์ลิงค์ ขนาด 100 แอมแปร์จะขาดที่กระแสต่อเนื่องเท่ากับ 100 x 1.50 = 150 แอมแปร์ หรือเท่ากับ 1.5 เท่าของขนาดฟิวส์ลิงค์ซึ่งถ้าฟิวส์ที่ผลิตตามมาตรฐานอื่นเช่น มาตรฐาน IEC ค่านี้จะเปลี่ยนไป พิกัดฟิวส์คัตเอาต์และไส้ฟิวส์ (fuse link) ตามมาตรฐาน ANSI-NEMA มีให้เลือกใช้งานตามตารางด้านล่าง

ตารางพิกัดฟิวส์คัตเอาต์ (fuse cutout) และไส้ฟิวส์ (fuse link) ตามมาตรฐาน ANSI-NEMA

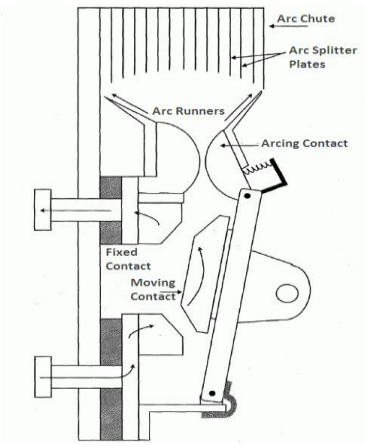
พิกัดกระแสแฟรม (AF)	พิกัดฟิวส์คัตเอาต์ (fuse cutout) และไส้ฟิวส์ (fuse link) ตามมาตรฐาน ANSI-NEMA								
	พิกัดกระแสไส้ฟิวส์ (A)	พิกัดแรงดัน (kV)		พิกัดตัดกระแสลัดวงจร (kA)		ความยาวต่ำสุด (mm)		เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	
		สูงสุด	BIL	สมมาตร	อสมมาตร	27(24) kV	38(36) kV	ØA	ØD
100	1, 2, 3, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100	15 (12) 15 (12) 27 (24) (24) 27	95 (75) 95 (75) 125 (125) (125) 125	8 12 16 16 8 10 12 16	5.6 8 10.6 10.6 5.6 7.1 8 10.6	661 661	760 760	19 25	12.7 19

		38 38	150 200	8 8	5 5				
200	140, 200	(12) (24) 38 (36)	(75) (125) 150 (170)	16 12 8 8	10.6 8 5 5	690	780	25	19
( ) พิกัดมาตรฐาน IEC									

13. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงสามารถแบ่งตามชนิดของการดับอาร์กได้กี่ชนิด อะไรบ้าง

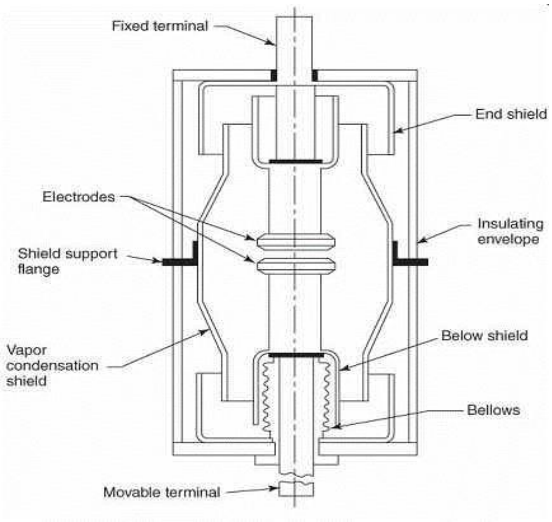
ตอบ เซอร์กิตเบรกเกอร์ในระบบแรงสูง สามารถแบ่งตามลักาณะของการดับอาร์ก ได้ 4 ชนิดคือ

1) เซอร์กิตเบรกเกอร์อากาศ (Air Circuit Breaker ; ACB) ชนิดนี้ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการดับอาร์ก ดังรูปด้านล่าง เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากระบบการทำงานไม่ยุ่งยาก แต่ใช้กับแรงดันได้ไม่สูงนัก หลักการทำงานโดยย่อคือ ขณะที่ทำการสับเซอร์กิตเบรกเกอร์จะมีกลไกสำหรับอัดอากาศเก็บไว้ แล้วเมื่อทำการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์อากาศจะถูกอัดอย่างแรง ให้เป่าไปที่จุดเกิดอาร์กหรือบริเวณหน้าคอนแทก อาร์กที่เกิดขึ้นจะถูกเป่าเข้าไปในช่องดับอาร์ก ทำให้อาร์กถูกตัดขาดและดับในที่สุด



รูป high voltage air circuit breaker

2) เซอร์กิตเบรกเกอร์สุญญากาศ (Vacuum Circuit Breaker ; VCB) เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จะเอาหน้าคอนแทก ไว้ในห้องสุญญากาศซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี อาร์กที่เกิดขึ้นในตอนที่คอนแทกเปิด จะไม่ต่อเนื่องเพราะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระจึงทำให้อาร์กดับลง และการเกิดอาร์กก็ไม่รุนแรงทำให้คอนแทกมีอายุ การใช้งานคงทนเกือบจะไม่ต้องมีการทำนุบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งาน แต่คอนแทกนี้ ต้องทำด้วยวัสดุพิเศษเพื่อป้องกันการละลายติดกันเนื่องจากความร้อนสูงเพราะการระบายความร้อนไม่ดี แสดงรูปด้านล่าง

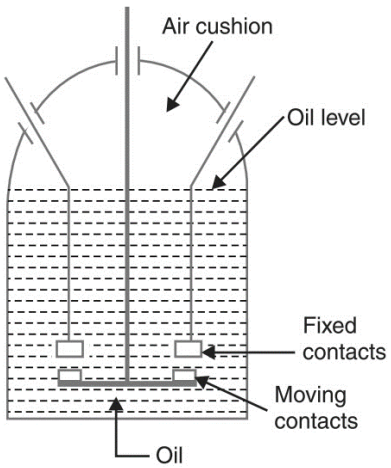


รูป Vacuum Circuit Breaker

3) เซอร์กิตเบรกเกอร์น้ำมัน (OCB) เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้นิยมใช้มานานใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้าสูง แต่การใช้งานต้องมีการบำรุงรักษาตลอดตามระยะเวลาที่เหมาะสม การดับอาร์ก ได้โดยการเอาคอนแทกแช่อยู่ในน้ำมันซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า อาร์กที่เกิดขึ้นจากการสับหรือปลดและถูกดับด้วยน้ำมันจะทำให้น้ำมันสกปรกเมื่อใช้งานไปได้ระยะหนึ่งต้องมีการทำความสะอาดน้ำมันโดยการกรอง มิเช่นนั้นค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าของน้ำมันจะลดลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดจะไม่สามารถดับอาร์กได้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังรูปด้านล่าง คือ

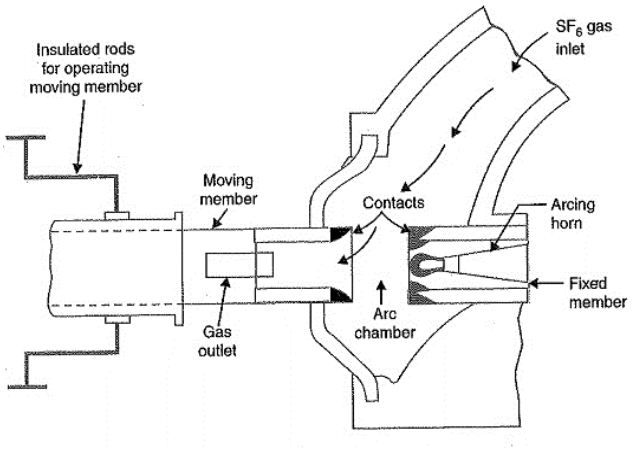
ก) ชนิดน้ำมันเต็ม (bulk oil circuit breaker)

ข) ชนิดพร่องน้ำมัน (minimum oil circuit breaker)



รูปเซอร์กิตเบรกเกอร์น้ำมัน (OCB)

4) เซอร์กิตเบรกเกอร์ก๊าซ (GCB) การดับอาร์กจะใช้ก๊าซเฉื่อยแทนน้ำมัน แต่ก๊าซที่ใช้ต้องเป็นชนิดที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงและสามารถเป็นตัวนำความร้อนได้ดีด้วยดังรูปด้านล่าง ปัจจุบันนิยมใช้ก๊าซ SF_6 ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมใช้ความดันไม่สูงนักทำให้ลดปัญหาเรื่องก๊าซรั่วได้ดี ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ ไม่ทำให้ไฟติด และที่สำคัญคือไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม



รูปเซอร์กิตเบรกเกอร์ก๊าซ (GCB)

14. รีเลย์ป้องกันทางด้านแรงสูงที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีกี่ชนิด อะไรบ้าง

ตอบ ปัจจุบันสามารถแบ่งรีเลย์ป้องกัน 3 ชนิด คือ

1. Electromechanical Relays เป็นรีเลย์ที่อาศัยกระแสไฟฟ้าสร้างแรงดึงดูดหรือแรงบิดทิศทางแม่เหล็กทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทางกลของหน้าสัมผัส รีเลย์แบบนี้เป็นแบบเก่าแต่ก็ยังมีการใช้อยู่

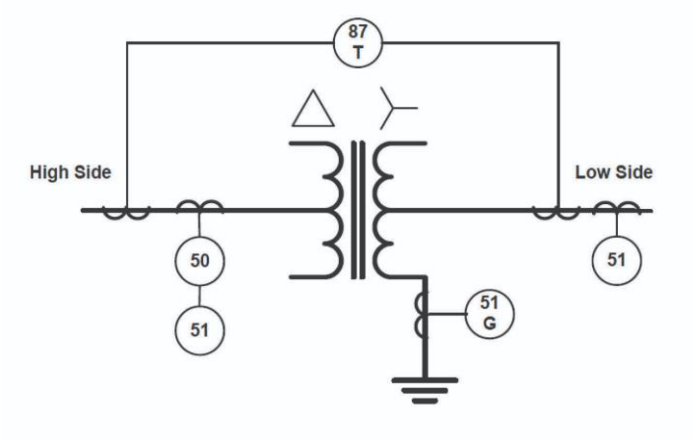
2. Solid State Relays เป็นรีเลย์แบบใหม่ที่นำบริภัณฑ์ทางอิเล็กทรอนิกสมาใช้สร้างวงจรจำลองการทำงานของ Electromechanical Relays ทำให้ไม่มีส่วนเคลื่อนที่จึงได้ชื่อว่า Static Relays รีเลย์ชนิดนี้มีความเชื่อถือได้สูง

3. Digital Relays เป็นรีเลย์ที่นำอุปกรณ์ Microprocessor มาใช้ในการทำงานของรีเลย์ เรียกว่า Digital Relays รีเลย์แบบนี้ทำงานได้หลายแบบ เช่นการป้องกัน ตรวจวัด ควบคุม ติดต่อสื่อสาร และบันทึกผล ตำแหน่งตรวจจับของรีเลย์ปองกันขึ้นพื้นฐานแสดงตัวอย่างไว้ดังรูปด้านล่าง โดยรีเลย์ที่นิยมใช้กันมากได้แก่

- รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay , Device No. 50 , 51)
- รีเลย์ป้องกันกระแสผิดพร่องลงดิน **(** Ground Fault Relay , Device No. 50N , 51N)
- รีเลย์ กระแสเกินแแบบมีทิศทาง (Directional Overcurrent Relay , Device No. 67)
- รีเลย์ป้องกันกระแสผิดพร่องลงดินแบบมีทิศทาง (Directional Ground Fault Relay , Device No. 67N)
- รีเลย์กำลังแบบมีทิศทาง (Directional Power Relay , Device No. 32)
- รีเลย์ต่างผล (Differential Relay , Device No. 87)

- รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay , Device No. 21)
- รีเลย์แรงดันต่ำ (Under Voltage Relay , Device No. 27)

การเลือกชนิดรีเลย์ในการป้องกันควรเลือกให้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ในการป้องกัน



รูปตัวอย่างตำแหน่งตรวจจับสัญญาณของรีเลย์ปองกันขั้นพื้นฐาน

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 3 แผงสวิตช์และการติดตั้งระยะห่าง

1. แผงสวิตช์ (Switch Board) หมายถึงอะไร มีส่วนประกอบและรายละเอียดอย่างไร

ตอบ แผงสวิตช์ (Switch board) หมายถึงแผงรับและจ่ายไฟขนาดใหญ่ที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯหรือรับจากด้านแรงต่ำของหม้อแปลง หรือรับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟไปยังแผงย่อยหรือโหลดต่างๆ แผงสวิตช์นี้บางทีเรียกอีกอย่างว่า ตู้เมนสวิตช์ หรือตู้ MDB (Main Distribution Board)

มีส่วนประกอบหลักและรายละเอียดมีดังนี้

1) โครงตู้เมนสวิตช์ (Enclosure) ทำมาจากแผ่นโลหะ (Steel Sheet) ประกอบเป็นโครงตู้ ซึ่งอาจเปิดได้เฉพาะด้านหน้า หรือเปิดได้ทุกด้าน ขึ้นอยู่กับการออกแบบโดยมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

- คุณสมบัติทางกล คือรับแรงทางกลจากภายนอกได้เพียงพอต่อการใช้งาน ทั้งภาวะปกติ และไม่ปกติได้

- คุณสมบัติทางความร้อนคือทนความร้อนจากสภาพแวดล้อม ความผิดปกติในระบบและ อาร์กจากการลัดวงจรได้

- คุณสมบัติต่อการกัดกร่อน คือสามารถทนการกัดกร่อนจากความชื้นและสารเคมีได้ นอกจากนี้โครงตู้ยังทำหน้าที่ป้องกันอันตรายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้

2) บัสบาร์ (Busbar) มีทั้งชนิดที่ตัวนำทำด้วยทองแดงและอลูมิเนียม ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางทางไฟฟ้าระหว่างสายประธานและสายป้อน บัสบาร์ที่นิยมใช้กันทั่วไปทำจากทองแดงรูปร่างแบบแบน (Flat) คือ มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากติดตั้งง่าย ระบายความร้อนดี แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือบัสบาร์แบบเปลือยและบัสบาร์แบบทาสี มีข้อแนะนำการใช้ดังนี้

- บัสบาร์ควรวางในแนวดิ่งจึงจะระบายความร้อนได้ดี

- บัสบาร์แบบแบนควรขนานกันไม่เกิน 4 แท่ง ถ้ามากกว่านี้จะมีปัญหาผลกระทบทางผิว (Skin Effect)

- สีที่ใช้ทาเคลือบบัสบาร์ ควรมีสัมประสิทธิ์การระบายความร้อนสูงประมาณ 0.9

- บัสบาร์แบบทาสีนำกระแสได้สูงกว่าบัสบาร์แบบเปลือย

- กำหนดให้ใช้สีน้ำตาล ดำ เทา สำหรับเฟส A, B, C ตามลำดับ

- การเรียงเฟสในสวิตช์บอร์ด (A, B, C) ให้เรียงจากด้านหน้าไปยังด้านหลังตู้ จากบนลงล่าง หรือจาก ซ้ายไปขวา

- การเรียงเฟสลักษณะอื่นอนุญาตเฉพาะการเชื่อมต่อกับระบบที่มีอยู่แล้ว แต่ต้องทำเครื่องหมาย ให้เห็นชัดเจน

- ขนาดกระแสสำหรับบัสบาร์ทองแดงและอลูมิเนียม ตามมาตรฐาน DIN 43 671 แสดงภาคผนวก ฉ.1 และ ฉ.2 ตามลำดับ ในหนังสือประกอบการเรียนวิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า

3) เครื่องป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent protection device) เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับตู้เมนสวิตช์ที่นิยมเลือกใช้คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ มี 2 ประเภท คือ แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (ACB) ใช้สำหรับเมน

เซอร์กิตเบรกเกอร์ในวงจรที่ใช้กระแสสูง และ โมลด์เดสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (MCCB) ใช้สำหรับวงจรย่อย หรือใช้สำหรับเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ในตู้เมนสวิตช์ขนาดเล็ก ทั้งนี้ต้องเลือกพิกัดขนาดอย่างถูกต้องเหมาะสม

4) เครื่องวัดไฟฟ้า (Meter) เครื่องวัดพื้นฐานที่ใช้ในตู้เมนสวิตช์ทั่วไปคือ โวลต์มิเตอร์(Volt Meter) และแอมมิเตอร์ (Amp Meter) ใช้งานร่วมกับสวิตช์ทางเลือก (Selector Switch) เพื่อวัดแรงดันหรือกระแสในแต่ละเฟส สำหรับตู้เมนสวิทช์ขนาดใหญ่อาจมีอาจมีเครื่องวัดเพิ่มขึ้นเช่น เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power Factor Meter), วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter) และ วาร์มิเตอร์ (Var Meter) บางตู้ก็อาจติดตั้งเครื่องควบคุมตัวประกอบกำลัง (Power Factor Controller) เพื่อควบคุมค่า Power Factor และอาจติดตั้งรีเลย์ป้องกันทางไฟฟ้า (Electrical Protective Relays) เพื่อตรวจจับสัญญาณความผิดปกติที่เกิดกับระบบไฟฟ้าในวงจรด้วยก็ได้

5) อุปกรณ์ประกอบ (Accessories) อุปกรณ์ประกอบในตู้เมนสวิทช์มีหลายตัว ได้แก่

- Current Transformer (CT) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการวัดกระแสไฟฟ้าโดยต่อร่วมกับแอมมิเตอร์ CT ที่มีใช้ใน ท้องตลาดจะมี 2 กลุ่ม คือ อัตราส่วนต่อ 1 และอัตราส่วนต่อ 5 ที่ใช้ในตู้เมนสวิตช์นิยมใช้อัตราส่วนต่อ 5 เช่น 50/5, 100/5, 300/5 เป็นต้น ปกติจะเลือก CT ตาม ขนาดของเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยเลือกไม่ต่ำกว่าพิกัดของเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ เช่น เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่มีขนาด 100 A ก็จะเลือก CT ขนาด 100/5 A ข้อควรระวังในการใช้ CT คือ ห้ามเปิดวงจรด้านไฟออก (Secondary) ของ CT เนื่องจากจะเกิดแรงดันสูงตกคร่อมขดลวด และทำให้ CT ไหม้ได้ หากไม่ใช้งานต้องลัดวงจรขั้วทั้งสองของ CT เสมอ

- Selector Switch โดย Ammeter Selector Switch จะใช้ร่วมกับ CT และ Panel Ammeter เพื่อวัดกระแสในตู้เมนสวิตช์ ส่วน Voltmeter Selector Switch จะใช้ร่วมกับ Panel Voltmeter เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าภายในตู้ การต่อวงจรให้ดูจากไดอะแกรมที่มาพร้อมกับอุปกรณ์ เพราะแต่ละ รุ่นหรือแต่ละยี่ห้ออาจมีวิธีการต่อวงจรที่แตกต่างกันไป

- Pilot Lamp เป็นหลอดที่แสดงสถานการณ์ทำงาน เพื่อบอกให้รู้ว่ามีไฟจ่ายเข้ามายังตู้เมนสวิตช์หรือไม่ Pilot Lamp มี 2 แบบ คือ แบบมีหม้อแปลงแรงดัน และแบบไม่มีหม้อแปลงแรงดัน แบบมีหม้อแปลงแรงดันจะลดแรงดันให้ต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมกับแรงดันหลอด เช่น 230/6.3V เป็นต้น

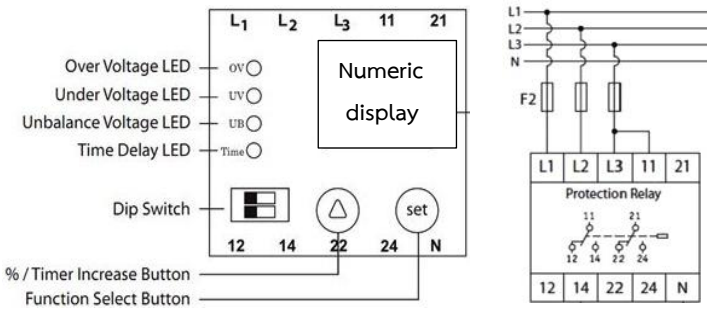
- Fuse เป็นคาร์ทริดจ์ฟิวส์ ใช้ป้องกันวงจรเครื่องวัดไฟฟ้าและหลอด Pilot Lamp

- ฉนวนรองบัสบาร์ เป็นฉนวนรอบรับบัสบาร์ โดยด้านหนึ่งยึดติดกับโครงตู้เมนสวิตช์ อีกด้านหนึ่งยึดบัสบาร์ไว้ให้มีความแข็งแรงเพียงพอ มีหลายชนิดให้เลือกใช้ให้เหมาะสมกับบัสบาร์แต่ละแบบ

2. รีเลย์ป้องกันทางไฟฟ้าในแผงสวิตช์ความสำคัญและรายละเอียดอย่างไรต่อระบบไฟฟ้า

ตอบ รีเลย์ป้องกันทางไฟฟ้า (Electrical Protective Relays) เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เสริมเข้ามาเพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเสียหาย มีความสำคัญมากสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโหลดที่เป็นมอเตอร์จำนวนมาก โดยจะทำหน้าตรวจจับสัญญาณความผิดปกติที่เกิดกับระบบไฟฟ้า หากสัญญาณที่ตรวจจับผิดปกติจากค่าปรับตั้งไว้ สัญญาณจะทำหน้าที่สั่งรีเลย์ (Relay) ปลดวงจรทันที เพื่อแยกความบกพร่องออกจากระบบก่อน

จะเกิดความเสียหายต่อมอเตอร์ไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่รีเลย์ดังกล่าวจะทำงานป้องกันร่วมกับโมลด์เดสเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบบ Electronic Trip หรือแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ในที่นี้จะกล่าวถึงรีเลย์ชนิดที่ใช้งานประจำ ๆ คือ Phase Protector Relay เป็นรีเลย์ป้องกันความผิดปกติของระบบ 3 เฟส 4 สาย มีฟังก์ชั่นตรวจจับสัญญาณพื้นฐาน ได้แก่ แรงดันตก (Under Voltage) แรงดันเกิน (Over Voltage) แรงดันกลับขั้ว (Phase Reverse) และแรงดันไม่สมดุล (Unbalance Voltage) ซึ่งเราสามารถตั้งค่าต่าง ๆ ได้ที่หน้าตัวอุปกรณ์ได้เลย มีตัวอย่างรูปร่างและไดอะแกรมการต่อวงจร ดังรูปด้านล่าง



รูปร่างลักษณะ ไดอะแกรม

รูปตัวอย่าง Phase Protection Relay ผลิตภัณฑ์หนึ่ง

3. จงบอกความหมายและชนิดของแผงย่อย (Panel Board)

ตอบ แผงย่อย (Panel Board) หมายถึงแผงรับและจ่ายไฟขนาดเล็กที่รับไฟฟ้าจากสายป้อนหรือสายประธานเพื่อจัดการแยกแล้วจ่ายไฟไปยังโหลดหรือวงจรย่อยหลายๆ วงจร โครงสร้างทำมาจากวัสดุโลหะหรือพลาสติกแข็ง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ชนิดคือ แผงย่อยทั่วไป (Panel boards) และแผงย่อยสำหรับที่อยู่อาศัย (Consumer Unit)

4. แผงย่อยทั่วไป (Load Center) มีหน้าที่และส่วนประกอบอย่างไรบ้าง

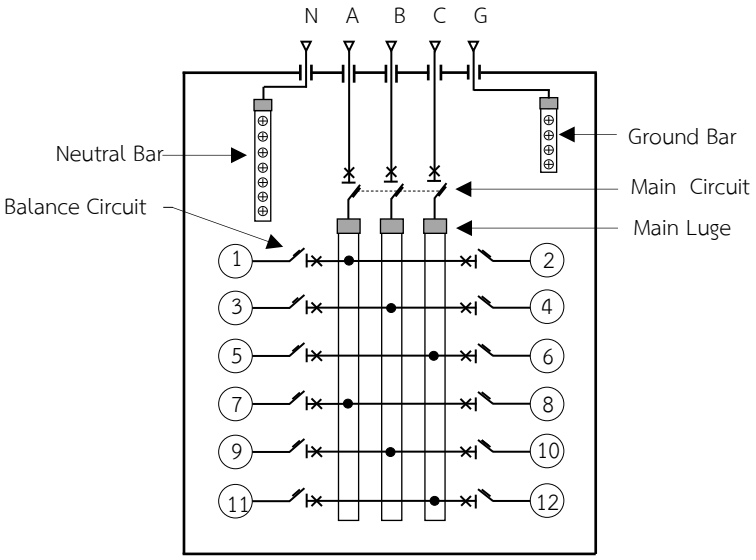
ตอบ แผงย่อยทั่วไป หรือที่นิยมเรียก โหลดเซ็นเตอร์ (Load Center) โครงสร้างทำมาจากวัสดุโลหะ ทำหน้าที่รับไฟฟ้าจากสายป้อนหรือสายประธาน แล้วจ่ายจ่ายไฟไปยังโหลดหรือวงจรย่อยต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย มีวงจรย่อย (Branch Circuit) ให้เลือกตั้งแต่ 12, 18, 24, 30, 36 และ 42 วงจรย่อย เหมาะสำหรับควบคุมระบบไฟฟ้าในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรม

ภายในโหลดเซ็นเตอร์ประกอบด้วย แท่งตัวนำหรือบัสบาร์จำนวน 3 ชุดได้แก่ บัสบาร์เฟส (Phase Bar) บัสบาร์นิวทรัล (Neutral Bar) และบัสบาร์กราวด์ (Ground Bar) ทำหน้าที่แตกต่างกันไป สำหรับบัสบาร์เฟสจะมี 3 แท่งทำด้วยทองแดงยาวอาจเคลือบด้วยดีบุก ถูกยึดอยู่ในกล่องห่อหุ้มโดยมีวัสดุฉนวนรองรับเรียงจากซ้ายไปขวา คือเฟส A, B, C ตามลำดับ มีพิกัดของบัสบาร์ให้เลือกใช้งานอยู่ 2 ขนาดคือ 100 A และ 200 A ในการใช้งานกระแสที่ไหลมาจากสายประธานผ่านเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์เข้ามายังขั้วต่อ (Main Luge) ของบัสบาร์นั้น แล้วสามารถแยกไฟที่ได้รับออกไปจ่ายโหลดตามวงจรย่อยต่างๆได้โดยผ่านวงจรเซอร์กิต

เบรกเกอร์ย่อย (Branch Circuit Breakers) ปกติจะกำหนดให้วงจรย่อยทางซ้ายของบัสบาร์เป็นเลขคี่และทางขวาของบัสบาร์เป็นเลขคู่ เช่น 1, 3, 5 ตามด้วย 2, 4, 6 และ 7, 9, 11 ไปเรื่อย ๆ ดังแสดงดังรูปด้านล่าง ซึ่งในการใช้งานแต่ละบัสบาร์หรือแต่ละเฟสควรพยายามแบ่งโหลดให้สมดุลกัน (Balance Circuit) หรือใกล้เคียงกัน โดยระบบสมดุลที่ดีนั้นแต่ละเฟสควรต่างกันไม่เกิน 20 % และควรมีวงจรย่อยสำรองและวงจรย่อยว่างประมาณ 20 % ด้วยเช่นกัน ตู้โหลดเซ็นเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปแบ่งเป็น 2 ชนิดได้แก่

ก) ชนิด Main Lugs จะจ่ายไฟผ่านหลักหรือบัสบาร์ไปยังเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจรย่อยโดยตรง โดยไม่มีตัวควบคุมหลักหรือเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Main Circuit Breaker) การใช้งานจึงมักใช้ควบคู่กับเซฟตี้สวิตช์ (Safety Switch) หรือใช้ร่วมกับเครื่องป้องกันกระแสเกินอื่นอย่างใดอย่างหนึ่งเสมอ

ข) ชนิด Main Circuit Breaker คล้ายกับแบบ Main Lugs แต่จะมีเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์เพิ่มเข้ามาทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลักในการจ่ายกระแสผ่านบัสบาร์ไปยังโหลดวงจรย่อยต่าง ๆ



รูปส่านประกอบของตู้โหลดเซ็นเตอร์ ชนิด Main Circuit Breaker

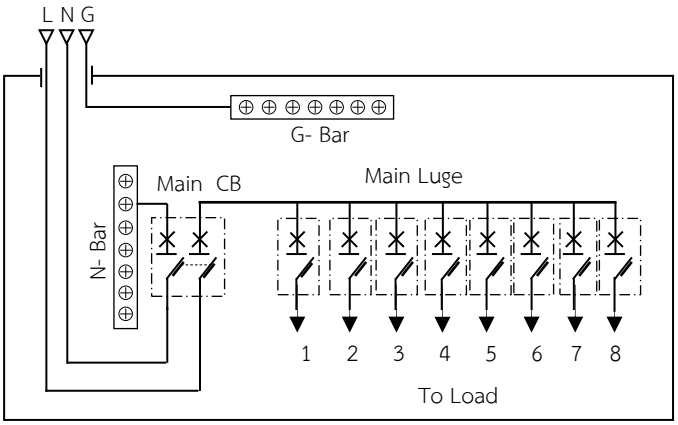
เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่นิยมใช้กับโหลดเซ็นเตอร์มี 2 ประเภท คือ MCCB เหมาะเป็นเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ MCB ใช้กับวงจรย่อย การเลือกใช้งานจะต้องมีพิกัดกระแสทริบ (AT) ไม่เกินพิกัดของบัสบาร์เช่น พิกัดบัสบาร์เฟสของโหลดเซ็นเตอร์ 100 A ต้องเลือกเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้สุงสุด 100 AT ส่วนวงจรย่อยขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดแต่พิกัดวงจรย่อยสูงสุดไม่ควรเกิน 50 AT

5. แผงย่อยสำหรับที่อยู่อาศัย (Consumer Unit) มีหน้าที่และส่วนประกอบอย่างไรบ้าง

ตอบ แผงย่อยสำหรับที่อยู่อาศัย (Consumer Unit) หรือที่นิยมเรียก ตู้คอนซูเมอร์ โครงสร้างทำมาจากวัสดุโลหะหรือพลาสติกแข็ง ทำหน้าที่รับไฟฟ้าจากสายป้อนหรือสายประธาน(ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก) แล้วจ่ายจ่ายไฟไปยังโหลดหรือวงจรย่อยต่างๆ เช่นเดียวกับโหลดเซ็นเตอร์ แต่จะเหมาะสำหรับใช้ในบ้าน

อาคารสำนักงานขนาดเล็กหรือใช้เป็นแผงย่อยประจำห้องพัก ซึ่งส่วนใหญ่ ใช้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย มีวงจรย่อย ให้เลือกตั้งแต่ 4, 6, 8, 12 และ 16 วงจรย่อย

ภายในตู้คอนซูเมอร์ประกอบด้วย แท่งตัวนำหรือบัสบาร์จำนวน 3 ชุดได้แก่ บัสบาร์เฟส บัสบาร์นิวทรัล และบัสบาร์กราวด์ เช่นเดียวกับโหลดเซ็นเตอร์ แต่บัสบาร์เฟสจะมีเพียง 1 แท่งและถูกยึดอยู่ในกล่องห่อหุ้ม โดยมีวัสดุฉนวนรองรับเช่นกัน (บางรุ่นเป็นบัสบาร์ภายนอก) มีพิกัดของบัสบาร์สูงสุด 100 A เท่านั้น ในการใช้งานเช่นเดียวกับโหลดเซ็นเตอร์ชนิด Main Circuit Breaker แต่ไม่ต้องพิจารณาเรื่องการแบ่งโหลดให้สมดุล ลักษณะตู้คอนซูเมอร์ดังรูปด้านล่าง



รูปส่วนประกอบของตู้คอนซูเมอร์ยูนิต

ตู้คอนซูเมอร์ยูนิตนิยมใช้ MCB เป็นทั้งเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์และเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจรย่อย โดยเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องมีพิกัดกระแสทริบไม่เกิน 100 AT หรือไม่เกินพิกัดบัสบาร์ของตู้คอนซูเมอร์ ส่วนวงจรย่อยขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดแต่พิกัดสูงสุดไม่ควรเกิน 32 AT และการต่อสายเส้นไฟ (Line) และสายนิวทรัล (Neutral) ต้องต่อให้ถูกต้อง (ตู้คอนซูเมอร์แต่ละรุ่นอาจต่อไม่เหมือนกัน) หากต่อผิดจะทำให้มีแรงดันไฟฟ้าปรากฏในระบบซึ่งเป็นอันตรายมาก

6. ข้อกำหนดการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินแรงต่ำมีสาระสำคัญอะไรบ้าง อย่างไร

ตอบ ข้อกำหนดการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินแรงต่ำจะเป็นฟิวส์หรือเซอกิตเบรกเกอร์ก็ได้ มีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

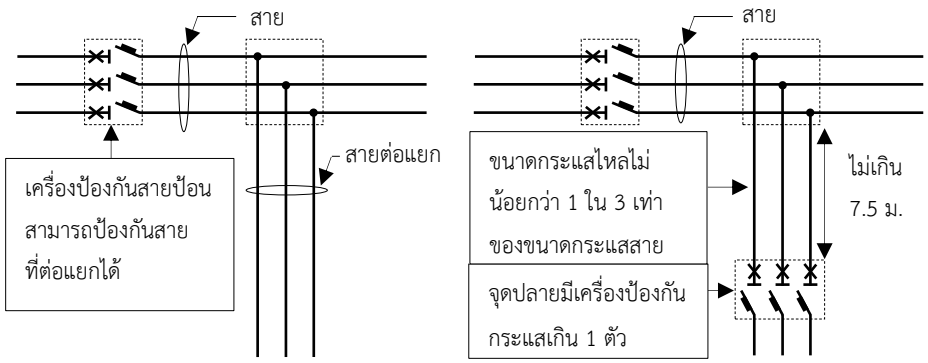
1) เครื่องป้องกันกระแสเกินต้องสามารถป้องกันสายเส้นเฟสหรือสายเส้นไฟได้ทุกเส้น และห้ามติดตั้งในสายนิวทรัลหรือสายศูนย์ นอกจากว่าเครื่องป้องกันกระแสเกินนั้นจะสามารถตัดวงจรทุกเส้นรวมทั้งสายนิวทรัลได้พร้อมกัน เครื่องป้องกันกระแสเกินหากใช้ฟิวส์ห้ามติดตั้งในสายนิวทรัล

2) เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องบรรจุไว้ในกล่องหรือตู้อย่างมิดชิด และต้องติดตั้งในที่ซึ่งสามารถปฏิบัติงานได้ง่ายสะดวก มีที่ว่างและแสงสว่างอย่างเพียงพอ บริเวณหน้าแผงหรือทางเข้าต้องมีที่ว่างเพื่อการปฏิบัติงานได้อย่างเพียงพอเป็นไปตามมาตรฐาน

3) การต่อแยกสายป้อนต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินทุกจุดที่ต่อแยก และต้องติดตั้งให้อยู่ใกล้จุดต่อแยกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่อาจมีข้อยกเว้นหากเป็นกรณีดังต่อไปนี้

ก) เครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อนสามารถป้องกันสายที่ต่อแยกได้ ดังรูปด้านล่าง ก)

ข) สายที่ต่อแยกจากสายป้อน ติดตั้งในช่องเดินสาย มีความยาวสายไม่เกิน 7.5 ม. และมีขนาดกระแสไหลไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 เท่าของขนาดกระแสสายป้อนและจุดปลายของสายต่อแยกต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 1 ตัว ดังรูปด้านล่าง ข)



ก) กรณีป้องกันสายต่อแยกได้ ข) กรณีสายไม่เกิน 7.5 ม.และกระแสไหลไม่น้อยกว่า 1 ใน 3

รูปข้อยกเว้นกรณีจุดต่อแยกไม่ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน

4) **เ**ครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับตู้เมนสวิตช์ ต้องสามารถตัดกระแสลัดวงจรค่ามากที่สุดที่อาจเกิดขึ้นที่จุดต่อไฟด้านไฟออกได้ และต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 10 kA

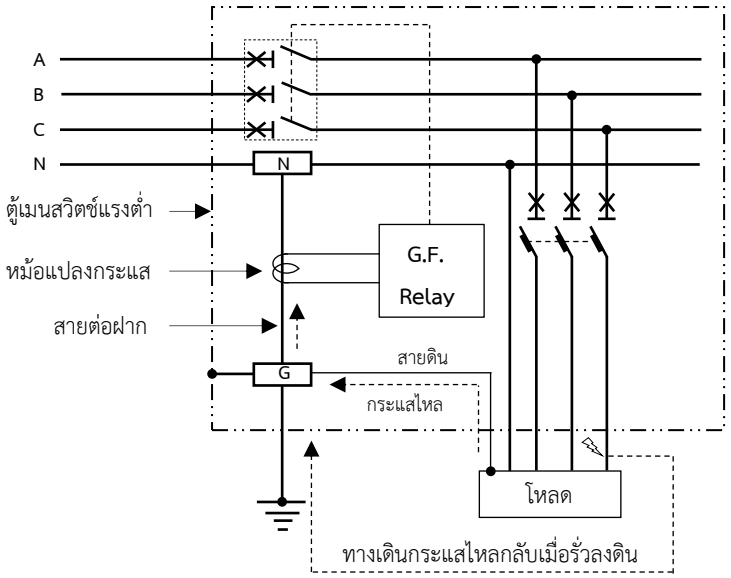
5) เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับตู้เมนสวิตช์ หรือแผงย่อยแรงต่ำระบบวายที่สายนิวทรัลต่อลงดินโดยตรง ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1,000 A ขึ้นไป ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดิน (ground fault protection) ด้วย โดยเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดินนี้สามารถต่อวงจรได้ 3 วิธีคือ

ก) วิธีวัดกระแสไหลกลับผ่านระบบดิน (ground return sensing method)

ข) วิธีวัดกระแสสมดุล (zero sequence sensing method)

ค) วิธีวัดกระแสตกค้าง (residual sensing method)

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีวัดกระแสไหลกลับผ่านระบบดิน เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด วงจรการต่อดังรูปด้านล่าง โดยจะวัดกระแสที่ไหลผ่านสายต่อฝากลงดินเส้นที่ต่อระหว่างบัสบาร์นิวทรัลกับบัสบาร์กราวด์ กรณีที่บริภัณฑ์ไฟฟ้าเกิดรั่วลงดินหรือลงตัวถัง กระแสจะไหลกลับสายนิวทรัลโดยผ่านทางสายดิน รีเลย์วัดกระแสรั่วลงดินจะวัดกระแสนี้ได้โดยผ่านทางหม้อแปลงกระแส และจะสั่งให้เซอกิตเบรกเกอร์ปลดวงจร สำหรับกรณีที่เกิดกระแสรั่วลงดินโดยไม่ผ่านสายดินก็เช่นกัน รีเลย์วัดกระแสรั่วลงดินจะสามารถวัดกระแสนี้ได้ โดยกระแสจะไหลผ่านดิน ผ่านสายต่อหลักดิน ผ่านบัสบาร์กราวด์ ขึ้นไปยังสายนิวทรัล ตามลำดับ

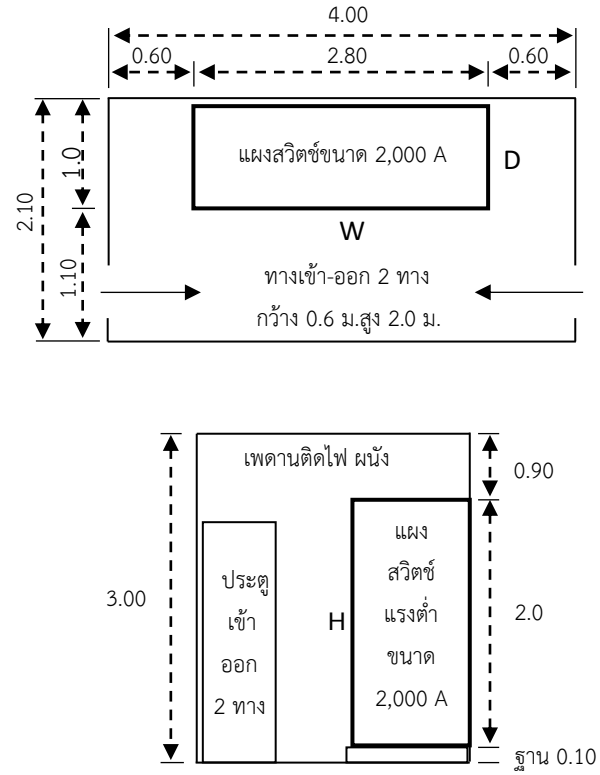


รูปวงจรเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดินโดยวิธีวัดกระแสไหลกลับผ่านระบบดิน

6) อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบฉุกเฉินต่างๆ เช่น เครื่องแจ้งเหตุไฟไหม้ ระบบสัญญาณป้องกันอันตราย เครื่องสูบน้ำดับเพลิง นาฬิกา เครื่องป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า คาปาซิเตอร์ เครื่องวัดฯ และวงจรควบคุมที่เกี่ยวกับด้านความปลอดภัยต่างๆ สามารถติดตั้งทางด้านไฟเข้าของเครื่องป้องกันกระแสเกินของเมนสวิตช์ได้

7. จงหาขนาดของห้องสำหรับติดตั้งแผงสวิตช์แรงต่ำขนาด 2,000 AT 230/400 V ที่มีขนาดกว้าง × ลึก × สูง (W × D × H) เท่ากับ 2.80 × 1 × 2 เมตร กำหนดห้องเป็นผนังคอนกรีตและเพดาน เป็นวัสดุติดไฟได้ โดยปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้าแผงสวิตช์ (ให้เขียนผังประกอบ)

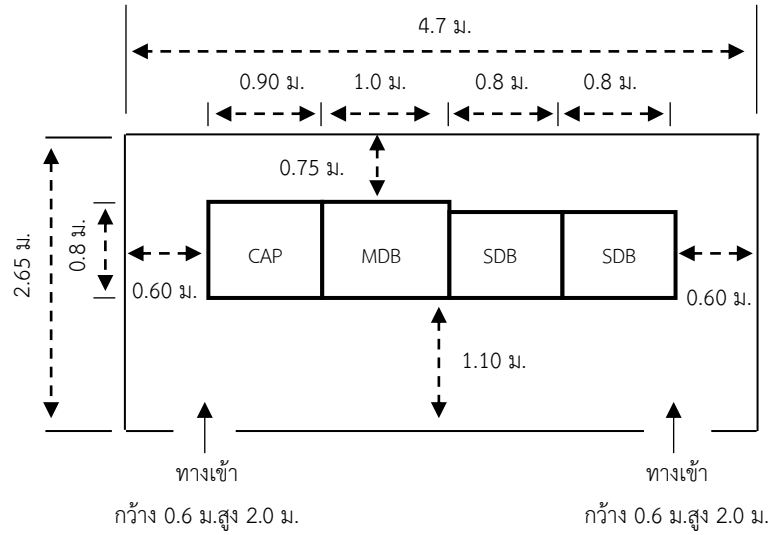
ตอบ แผงสวิตช์แรงต่ำมีพิกัดกระแสตั้งแต่ 1,200 แอมแปร์ ต้องมีทางเข้าทั้งสองข้างของแผงสวิตช์ แผงสวิตช์ปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้าด้านหลังสามารถวางชิดผนังได้เลย สำหรับด้านข้างก็ไม่จำเป็นต้องมีทางเข้าหรือที่ว่างก็ได้ แต่เพื่อสะดวกในการขนย้ายและเพิ่มพื้นที่ระบายความร้อน จึงออกแบบไว้ประมาณ 0.60 เมตร จะได้ขนาดของห้องกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.10 x 4.00 x 3.00 เมตร ดังรูปด้านล่าง



ขนาดห้องสำหรับแผงสวิตช์ 2,000 A ปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้าแผงสวิตช์

8. จงหาขนาดของห้องสำหรับติดตั้งตู้ MDB ขนาด 1,600 AT 230/400 V ขนาด (1.0 × 0.8 × 2.0 เมตร) ตู้ย่อย SDB จำนวน 2 ตู้ แต่ละตู้มีขนาด (0.8 × 0.7 × 1.8 เมตร) และตู้คาปาซิเตอร์จำนวน 1 ตู้ ขนาด (0.9 × 0.8 × 1.8 เมตร) กำหนดห้องเป็นผนังคอนกรีตและเพดานเป็นวัสดุติดไฟได้ โดยปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้าแผงสวิตช์ (ให้เขียนผังประกอบ)

<u>ตอบ</u> แผงสวิตช์แรงต่ำมีพิกัดกระแสตั้งแต่ 1,200 แอมแปร์ ต้องมีทางเข้าทั้งสองข้างของแผงสวิตช์ แผงสวิตช์ปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้าด้านหลังสามารถวางชิดผนังได้เลย หรือลดคงเหลือ 0.75 ม. เพื่อทำงานในส่วนที่ได้ปลดวงจรไฟฟ้าออกแล้ว ฝาด้านข้าง (ทั้งสองข้าง) หากไม่ต้องปฏิบัติงาน ก็ไม่ต้องมีที่ว่าง หรือลดคงเหลือ 0.60 ม.เพื่อเป็นทางเข้าเพื่อปฏิบัติงานด้านหลัง จะได้ขนาดของห้องกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.65 x 4.70 x 3.00 เมตร ดังรูปด้านล่าง



ขนาดห้องสำหรับแผงสวิตช์ 1,600 A ปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้าแผงสวิตช์

สำหรับโจทย์ข้อนี้อาจจะออกแบบให้มีประตูทางเข้าทางเดียวก็ได้ แต่ต้องมีเงื่อนไข 2 กรณีคือ

1. หน้าของแผงสวิตช์เป็นที่ว่างไม่มีสิ่งกีดขวาง และสามารถเข้าออกทางเข้าได้โดยตรง
2. หน้าของแผงสวิตช์มีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานมีความลึกเป็น 2 เท่า (ลึก 1.10 x 2 เมตร)

9. สวิตช์เกียร์ (Switchgear) หมายถึงอะไร และมีส่วนประกอบอะไรบ้าง

ตอบ สวิตช์เกียร์ (Switchgear) หมายถึง ตู้สวิตช์บอร์ดแรงดันสูง (High Voltage Switch Board) เป็นตู้ขนาดใหญ่ทำหน้าที่รับและจ่ายไฟที่แรงดันสูง หรือรับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟไปยังโหลดต่างๆ คล้ายกับตู้เมนสวิตช์แรงต่ำ มีส่วนประกอบ 4 ส่วนได้แก่

1) กล่องห่อหุ้ม (Enclosure) เปนกลองโลหะที่ใช้ปองกันแรงกระแทกจากภายนอกและปองกันอันตรายที่อาจเกิดจากประกายไฟหากเกิดการลัดวงจรภายในกล่องห่อหุ้ม ในส่วนที่เป็นโลหะจะต้องมีการลงดินเสมอ

2) บัสบาร (Busbar) เป็นแท่งโลหะ โดยทั่วไปจะเป็นแท่งทองแดง ทำหนาที่นำกระแสภายในกลองห่อหุ้มเพื่อจ่ายกระแสใหกับวงจรตาง ๆ บัสบาร์ต้องมีการติดตั้งอย่างมันคงเนื่องจากจากในสภาวะที่เกิดการลังวงจรจะเกิดแรงกระชากขนาดมหาศาลขึ้นที่บัสบาร์นี้

3) อุปกรณ์หรือเครื่องป้องกันกระแสเกินมีทั้งชนิดที่เป็นฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยทั่วไปจะเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์มากว่าฟิวส์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าต้องการ

4) อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการวัด เช่น ct, vt, Ammeter, Voltmeter ฯลฯ

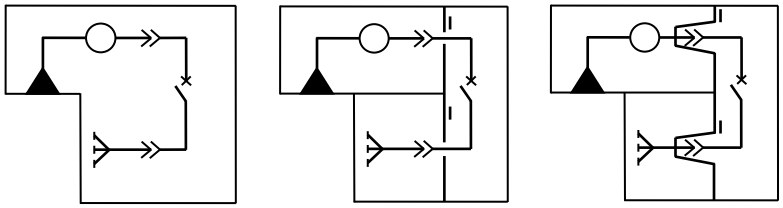
10. สวิตช์เกียร์ตามมาตรฐาน IEC 60298 แบ่งตามระดับความปลอดภัยได้เป็นกี่ชนิด อะไรบ้าง

ตอบ ตู้สวิตช์เกียร์ตามมาตรฐาน IEC 60298 แบ่งตามระดับความปลอดภัยได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

1) Cubicle Switchgear เป็นแบบราคาถูกที่สุดและความปลอดภัยน้อยสุด เพราะถ้าหากมีการลัดวงจรที่บริภัณฑ์ใดๆ ก็จะแพร่กระจายออกไปยังตู้อื่น ๆ ปัจจุบันมีใช้มากในสถานประกอบการต่างๆ ทั่วประเทศ ส่วนมากสั่งบริภัณฑ์มาประกอบภายในประเทศ สัญลักษณ์ดังรูปด้านล่าง ก)

2) Compartmented Switchgear เป็นแบบผลิตสำเร็จมาจากต่างประเทศแล้ว นำมาทำเป็น Functional Unit คือแต่ละตู้มีหน้าที่ต่างกันไปเป็น Modular แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยใช้ก๊าซ SF_6 เป็นฉนวน ซึ่งมีขนาดเล็กและมีความปลอดภัยสูง เหมาะสำหรับใช้ในสถานประกอบการใหญ่ ๆ หรือในโรงงานอุตสาหกรรม สัญลักษณ์ดังรูปด้านล่าง ข)

3) Metal - Clad Switchgear เป็นแบบที่ให้ความปลอดภัยสูงสุด คือเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นภายใน Compartment หนึ่งจะไม่สามารถแพร่ไปสู่ Compartment อื่นๆได้ สัญลักษณ์ดังรูปด้านล่าง ค) เหมาะสำหรับใช้ในสถานที่สำคัญๆ เช่น ในสถานีไฟฟ้าย่อย ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น



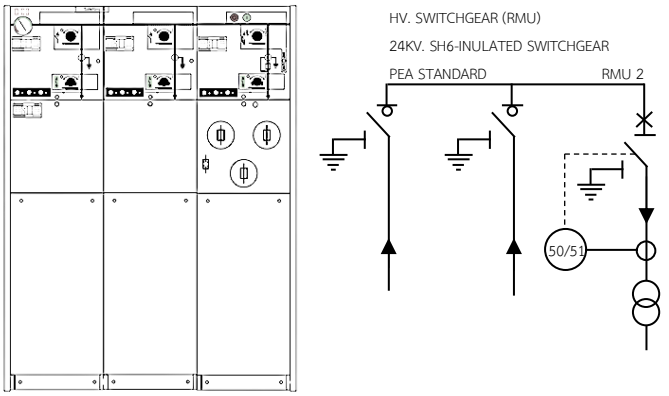
ก) Cubicle ข) Compartmented ค) Metal - Clad

รูปชนิดของสวิตช์เกียร์

11. หน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน (Ring Main Unit; RMU) คืออะไร มีหน้าที่และส่วนประกอบอะไรบ้าง

ตอบ หน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน (Ring Main Unit, RMU) คือตู้สวิตช์เกียร์ที่ประกอบขึ้นมาเป็นชุด ในแต่ละชุดประกอบด้วยเครื่องปลดวงจร (Disconnector Switch) และอาจมีเครื่องป้องกันกระแสเกินหรือไม่ก็ได้ตามความต้องการ หากมีเครื่องป้องกันกระแสเกินมีทั้งชนิดที่เป็นฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์บรรจุอยู่ในเครื่องห่อหุ้มอย่างมิดชิดเพียงตู้เดียว (Single Metal Enclosure) จึงปลอดภัยในการใช้งาน ปัจจุบันจะบรรจุก๊าซ SF_6 ที่ความดันประมาณ 3 บาร์ เป็นตัวกลางในการดับอาร์ก

หน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวนมีหน้าที่เปลี่ยนสลับแหล่งจ่ายไฟได้ในตัวเดียวกัน เหมาะสำหรับที่จะใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีสายป้อนมากกว่าหนึ่งสายป้อน เช่น ระบบสายป้อนใต้ดิน ซึ่งปกติสายป้อนใต้ดินจะมีมากกว่าหนึ่งสายป้อนอยู่แล้ว แต่ก็สามารถใช้ในระบบสายป้อนอากาศได้ หากนำมาต่อกันหลายๆชุดจะช่วยให้ออกแบบระบบการจ่ายไฟแบบวงแหวน (Open Ring) หรือแบบวงรอบ (Open Loop) ได้ง่ายขึ้น โดยปกติหน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน 1 ชุดจะมีช่องบริภัณฑ์อย่างน้อย 3 ช่อง ดังรูปด้านล่าง



รูปหน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน 1 ชุด

ส่วนประกอบของตู้หน่วยจ่ายไฟฟ้าวงแหวน ประกอบไปด้วย 4 ส่วนได้แก่

ก) Disconnector Switch ขนาด 400 A หรือ 630 A แรงดัน 24 kV

ข) Fuse สำหรับป้องกันหม้อแปลง

ค) เซอร์กิตเบรกเกอร์ มีพิกัดถึง 200 A พร้อม Protective Relay

ง) Earthing Switch

12. จงหาขนาดของห้องสำหรับติดตั้งชุดอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ เมื่อแผงสวิตช์ปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้า

• ตู้สวิตช์เกียร์ (แผงสวิตช์แรงสูง) 22 kV ขนาดเท่ากับ 2 × 1.5 × 2.3 เมตร

• หม้อแปลงชนิดแห้งมีเครื่องห่อหุ้ม 400 kVA ขนาดเท่ากับ 2.5 × 2.5 × 2.5 เมตร

• ตู้เมนสวิตช์ (แผงสวิตช์แรงต่ำ) 230/400 V ขนาดเท่ากับ 1.8 × 0.8 × 2 เมตร

(ให้เขียนผังประกอบ)

ตอบ ขนาดของห้องต่ำสุด

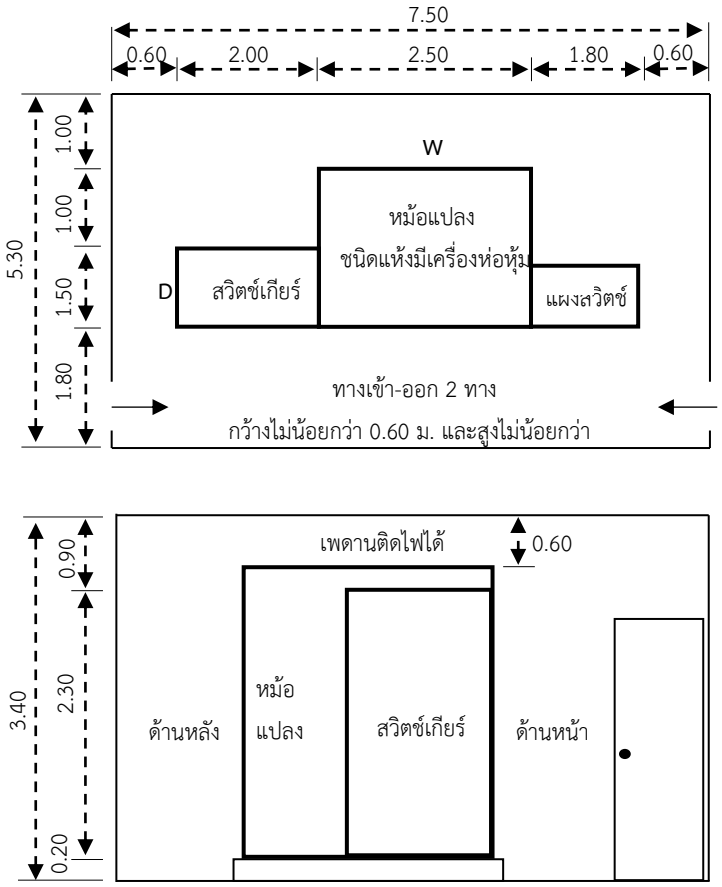
ความกว้าง = 0.60 + 2.00 +2.50 + 1.80 + 0.60 = 7.50 ม.

ความลึก = 1.80 + 2.50 + 1.00 = 5.30 ม.

ความสูง = 2.30 + 0.90 + 0.20 (ฐานคอนกรีต) = 3.40 ม.

จะได้ขนาดของห้องสำหรับติดตั้งชุดอุปกรณ์แรงสูง เมื่อแผงสวิตช์ปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้า

เท่ากับ กว้าง x ยาว x สูง (W x D x H) = 5.30 x 7.50 x 3.40 เมตร



ขนาดห้องสำหรับอุปกรณ์แรงสูง ที่ปฏิบัติงานเฉพาะด้านหน้าแผงสวิตช์

<u>หมายเหตุ</u>

1.ที่ว่างเหนือแผงสวิตช์แรงสูงหรือแรงต่ำสำหรับเพดานชนิดติดไฟได้ต้องสูงไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร

2. ที่ว่างเหนือหม้อแปลงไฟฟ้าต้องสูงไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร และระยะห่างหม้อแปลงถึงผนังห้องต้องไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 4 สายไฟฟ้าและการใช้งาน

1. ส่วนประกอบสายไฟฟ้าแรงต่ำทั่วไปมีกี่ส่วน แต่ละส่วนมีคุณสมบัติและหน้าที่อย่างไรบ้าง

ตอบ สายไฟฟ้า (Electric Wire) มีส่วนประกอบ 3 ส่วน แต่ละส่วนมีคุณสมบัติและหน้าที่ดังนี้

1.ตัวนำ (Conductor) ทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง ทำหน้าที่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากแหล่งจ่าย (Supply) ไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า ปัจจุบันโลหะที่นิยมใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าได้แก่ทองแดงและอลูมิเนียม โดย

ก) ทองแดง มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าสูง มีความแข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเหมาะแก่การใช้งานในอาคาร แต่มีน้ำหนักมาก ราคาสูง ไม่เหมาะแก่การใช้งานภายนอกอาคาร

ข) อลูมิเนียม มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้ารองมาจากทองแดง แต่เมื่อเปรียบเทียบในกรณีกระแสไหลเท่ากันแล้ว อลูมิเนียมต้องใช้ขนาดใหญ่กว่าทองแดงประมาณ 30 – 40% ของพื้นที่หน้าตัดของทองแดง แต่อลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา ราคาถูก จึงเหมาะกับการเดินสายภายนอกอาคาร และระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

2. ฉนวน (Insulator) ทำหน้าที่เป็นวัสดุห่อหุ้มตัวนำไฟฟ้า เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างตัวนำหรือตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน และเพื่อป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลหรือทางเคมีต่างๆ ในขณะที่ตัวนำมีกระแสไฟฟ้าไหลจะเกิดพลังสูญเสียในรูปของความร้อน ความร้อนนี้จะถูกถ่ายเทออกมายังเนื้อฉนวน ซึ่งความสามารถในการทนต่อความร้อนของฉนวนนี้จะเป็นตัวกำหนดความสามารถของสายไฟฟ้านั้นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้งาน ระดับแรงดันและสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนมากที่สุด คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross Linked Polyethylene (XLPE) โดยพิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งานฉนวน PVC เท่ากับ 70 °C ส่วนฉนวน XLPE เท่ากับ 90 °C

3. เปลือก (sheath) เป็นเปลือกที่หุ้มฉนวนของสายไฟฟ้าชั้นนอกสุด อาจจะมี 1 หรือ 2 ชั้นก็ได้ เพื่อป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นในขณะติดตั้งหรือใช้งาน การเลือกชนิดของเปลือกขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมทำเป็นเปลือกทั่วไปได้แก่ PVC, PE (Polyethylene) ซึ่งถ้าหากเป็นสายที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ เช่นสายทนไฟ อาจใช้วัสดุเช่น Flame Retardant Polyvinyl Chloride (FR-PVC) หรือ Low Smoke Halogen Free (LSHF) ก็ได้

2. สายไฟฟ้าที่หุ้มด้วยฉนวน PVC และ XLPE มีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างไร

ตอบ 1.อุณหภูมิใช้งาน สายหุ้มฉนวน PVC มีอุณหภูมิใช้งาน 70 °C แต่ XLPE มีอุณหภูมิใช้งานได้ถึง 90 °C ซึ่งทำให้ทนต่อการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ดีกว่า ในขณะที่ตัวนำขนาดเท่ากัน สายที่มีอุณหภูมิใช้งานสูงกว่าก็จะนำกระแสได้สูงกว่า ซึ่งถือว่าเป็นข้อเด่นของสาย XLPE แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานกับสายไฟชนิดนี้ ก็ต้องถูกออกแบบให้ทนความร้อนได้ที่ 90 °C เช่นกันเพื่อป้องกันอุปกรณ์ชำรุด

2. การต้านเปลวไฟ สายฉนวน PVC มีคุณสมบัติต้านเปลวไฟได้และไม่ลามไฟ ขณะที่สายฉนวน XLPE ไฟจะไม่ดับเองและลุกลามได้

3.ควัน เป็นข้อด้อยของสายไฟฟ้าที่ใช้ฉนวน PVC ที่จะเกิดควันดำปริมาณมากเมื่อติดไฟ จึงไม่เหมาะใช้ในพื้นที่อาคารที่จำกัดปริมาณควัน เช่น เส้นทางหนีไฟ หรือ ชั้นใต้ดิน

4.ความแข็งแรงทางกายภาพ สายฉนวน XLPE ทนต่อสภาพแวดล้อมภายนอกและทนแรงกดทับขูดขีดได้ดีกว่าสายฉนวน PVC จึงสามารถนำไปติดตั้งภายนอกอาคารได้ดี

3. สายไฟฟ้าแรงสูงอากาศสายชนิดเปลือยและชนิดหุ้มฉนวน แบ่งได้กี่แบบ อะไรบ้าง

<u>ตอบ</u> สายไฟฟ้าแรงสูงอากาศสายชนิดเปลือย แบ่งได้ 3 แบบ ดังรูปด้านล่าง ได้แก่

1) สายอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC-All Aluminum Conductor) เป็นตัวนำอะลูมิเนียมพันตีเกลียว เป็นชั้น ๆ รับแรงดึงได้ต่ำ ขึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสา (Span) มากๆ ได้ไม่เกิน 50 เมตร ถ้าสายที่มีขนาด 95 mm^2 ขึ้นไปสามารถใช้ระยะห่างช่วงเสาได้ ไม่เกิน 100 เมตร

2) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมผสม (AAAC-All Aluminum Alloy Conductor) มีส่วนผสมของอะลูมิเนียม แมกนีเซียม และซิลิกอน มีความเหนียวและรับแรงดึงได้สูงกว่าสาย AAC เหมาะสำหรับใช้เดินสายบริเวณชายทะเล ทนต่อการกัดกร่อนของไอเกลือได้ดี

3) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR-Aluminum Conductor Steel Reinforced) เป็นสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวและมีสายเหล็กอยู่ตรงกลาง สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น ทำให้สามารถขยายระยะห่างช่วงเสาได้ แต่ไม่เหมาะใช้สายชนิดนี้ในบริเวณชายทะเล เพราะจะเกิดการกัดกร่อนจากไอของเกลือ

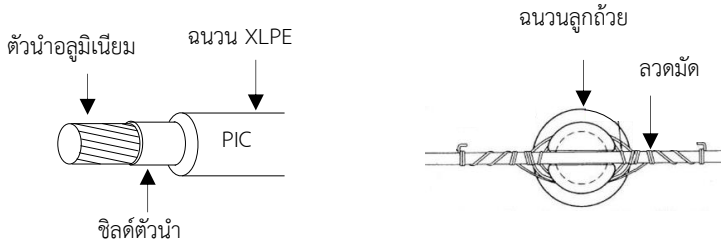


สาย AAC สาย AAAC สาย ACSR

รูปสายไฟฟ้าแรงสูงอลูมิเนียมเปลือย

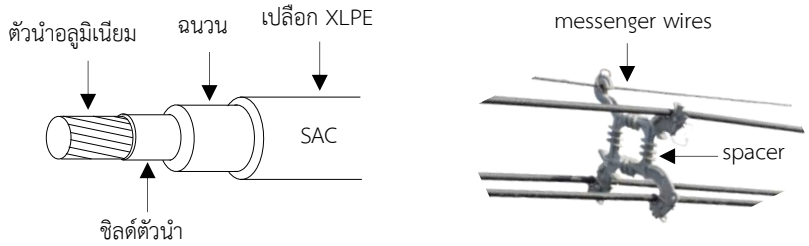
สายไฟฟ้าแรงสูงอากาศสายชนิดหุ้มฉนวน แบ่งได้ 3 แบบ เช่นกัน ได้แก่

1) สายหุ้มฉนวนบางส่วน (Partially Insulated Conductor) ใช้ชื่อย่อว่าสาย APCการไฟฟ้าส่านภูมิภาคเรียกว่าสาย PIC เป็นสายอลูมิเนียมตีเกลียวอัดแน่น (compacted strand) หุ้มด้วยฉนวน ชนิด PE หรือ XLPE จำนวน 1 ชั้น เหมาะสำหรับใช้เดินบนฉนวนลูกถ้วยแทนสายอลูมิเนียมเปลือยเพื่อลดการเกิดลัดวงจรเท่านั้น ซึ่งสายชนิดนี้ถึงแม้จะหุ้มด้วยฉนวน XLPE แต่ก็จะไม่สามารถแตะต้องได้เนื่องจากถูกหุ้มฉนวน XLPE ไว้บางๆ เท่านั้น ดังรูปด้านล่าง



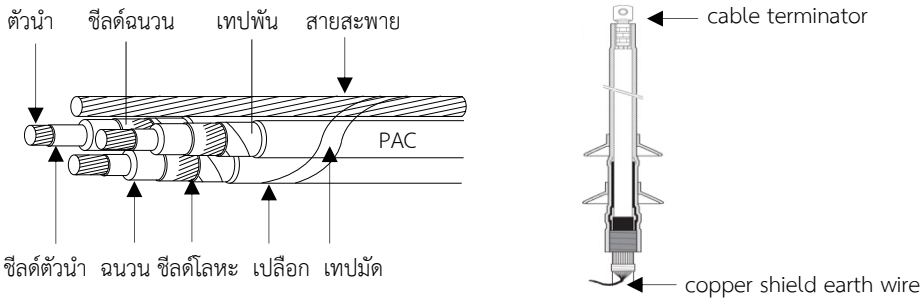
รูปสาย Space Aerial Cable ใช้เดินบนฉนวนลูกถ้วย

2) สายหุ้มฉนวนหนา (Space Aerial Cable) ใช้ชื่อย่อว่าสาย ASC การไฟฟ้าส่านภูมิภาคเรียกว่าสาย SAC เป็นสายอลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน XLPE เช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือกที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งสายชนิดนี้จะไม่มีชีลด์ จึงไม่สามารถกั้นสนามไฟฟ้าที่ออกมาจากตัวนำซึ่งอยู่ภายในได้ จึงไม่เหมาะที่จะใช้ยึดสัมผัสกับโลหะหรือสิ่งที่ต่อลงดินเป็นเวลานานๆ เพราะตรงจุดยึดหรือจุดสัมผัสจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง อาจทำให้ฉนวนบริเวณนั้นเสียหายได้ สำหรับการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องติดตั้งบนฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ปกติจะใช้ฉนวนที่เรียกว่าสเปซเซอร์ (Spacer) ทำหน้าที่รองรับสายและจัดระยะห่างระหว่างสาย โดยมีสายสะพาย (Messenger Wires) เป็นตัวรับแรงดึงและทำหน้าเป็นสายดินเหนือศีรษะ (Overhead Ground Wire) ดังรูปด้านล่าง



รูปสาย Space Aerial Cable ใช้ร่วมกับฉนวน Spacer

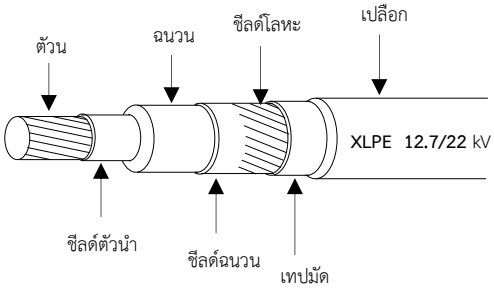
3) สายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด (Preassembly Aerial Cable) ใช้ชื่อย่อว่าสาย AFC การไฟฟ้าส่านภูมิภาคเรียกว่าสาย PAC เป็นสายอลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน XLPE และมีชีลด์ด้วยเช่นเดียวกับสายชนิดเดินใต้ดิน สายชนิดนี้จัดเป็นสายฉนวนเต็มพิกัด (Fully Insulated) สามารถสัมผัสได้โดยไม่เกิดอันตราย ปกติทำสำเร็จรูปพร้อมสายสะพานพันควบเข้าด้วยกันมาจากโรงงานผู้ผลิต ดังรูปด้านล่าง เหมาะสำหรับใช้ในบริเวณที่ระยะห่างระหว่างสายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้างน้อยกว่าที่กำหนดหรือผ่านบริเวณที่มีคนอาศัยอยู่ซึ่งสามารถวางใกล้กันและวางพาดไปกับมุมตึกได้ แต่เนื่องจากสายชนิดนี้มีชีลด์ การต่อสายเข้ากับสายชนิดอื่นหรือต่อเข้าบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จะต้องมีหัวเคเบิล (cable terminator) ด้วย



รูปสาย Preassembly Aerial Cable ใช้ร่วมกับฉนวน cable terminator

4. สายเคเบิลแรงสูงใต้ดินมีลักษณะโครงสร้างอย่างไร

ตอบ สายไฟฟ้าแรงสูงใต้ดินที่ใช้ในระบบแรงดันไม่เกิน 33 kV เป็นสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE (Cross-linked Polyethylene) มีโครงสร้างและส่วนประกอบดังรูปด้านล่าง ตัวนำอาจเป็นได้ทั้งทองแดงและอลูมิเนียม แต่นิยมใช้ทองแดงมากกว่า เนื่องจากรับแรงดังและมีความแข็งแรงทนทานต่อความชื้นได้ดี สายชนิดนี้จัดเป็นสายฉนวนเต็มพิกัด (Fully Insulated) สามารถสัมผัสได้โดยไม่เกิดอันตรายเช่นเดียวกับสาย PAC บางช่วงอาจเดินวางบนรางเคเบิลแบบบันได หรือแบบระบายอากาศได้ ซึ่งในการต่อสายชนิดนี้จำเป็นต้องใช้ชุดหัวต่อสายหรือหัวเคเบิล (splicing kit) ที่ทำมาโดยเฉพาะด้วย สายชนิดนี้จะผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502-2 มีพิกัดทนแรงดัน Uo/U ตั้งแต 3.6/6 kV ถึง 18/30 kV อุณหภูมิใช้งาน 90 °C มีพิกัดขนาดกระแสสายไฟฟ้าแสดงไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ 5-36 ถึง 5-38



รูปโครงสร้างสายเคเบิลแรงสูงใต้ดิน

มีลักษณะโครงสร้างสายไฟฟ้าแรงสูงใต้ดิน XLPE ประกอบด้วย

1. ตัวนำ (Conductor) ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้า ทำจากอะลูมิเนียมหรือทองแดง ซึ่งในประเทศไทยจะใช้ตัวนำชนิดทองแดงเป็นหลัก โดยการนำตัวนำตีเกลียวมาบีบอัดแน่น (Compact Strand Conductor)

ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง เมื่อนำไปใช้ในสายหุ้มฉนวนทำให้ลดความเครียดสนามไฟฟ้า และจะช่วยลดวัสดุที่นำมาหุ้มได้

2. ชีลด์ตัวนำ (Conductor Shield) ทำจากวัสดุกึ่งตัวนำ (Semi-conducting) หุ้มตัวนำไว้ ทำหน้าที่กระจายสนามไฟฟ้ารอบตัวนำอย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมี และช่วยให้ผิวสัมผัสของตัวนำกับฉนวนเรียบไม่มีช่องว่างที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงตกคร่อมซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการปล่อยประจุบางส่วนได้ (Partial Discharge)

3.ฉนวน (Insulation) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของสายแรงสูงใต้ดิน มีหน้าที่กันไม่ให้กระแสไฟฟ้าเกิดการรั่วไหลหรือลัดวงจรจนเกิดการสูญเสียต่อระบบไฟฟ้า และอาจเกิดอันตรายต่อบุคคลที่ไปสัมผัสได้ ฉนวนที่นิยมใช้ในสายไฟฟ้าใต้ดิน คือฉนวนชนิด XLPE ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิใช้งานของตัวนำได้สูงสุดถึง 90 °C

4. ชีลด์ฉนวน (Insulation Shield) ทำหน้าที่เช่นเดียวกับชีลด์ของตัวนำ คือทำหน้าที่กระจายสนามไฟฟ้ารอบตัวนำอย่างสม่ำเสมอ และลดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณผิวสัมผัสของฉนวน และ สายชีลด์โลหะ (Metallic Shield) วัสดุที่ใช้ทำชีลด์ของฉนวนจะเหมือนกับชีลด์ของตัวนำ คือทำจากวัสดุกึ่งตัวนำ

5. ชีลด์โลหะ (Metallic Shield) ทำหน้าที่เป็นตัวนำลงดิน (Ground) สำหรับสายไฟฟ้าแรงสูงและเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับในกรณีที่เกิดการลัดวงจร บางครั้ง สายชีลด์โลหะ ยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันทางกล (Mechanical Protection) หรือทำหน้าที่เป็นชั้นกันน้ำในกรณีของสายเคเบิลใต้น้ำ (Submarine Cable) อาจเป็นเทป หรือสายไฟทำด้วยทองแดงหรืออะลูมิเนียม หรืออาจจะเป็นปลอกตะกั่ว (Lead Sheath) หรือ ปลอกอะลูมิเนียมลูกฟูก (Corrugate Aluminum Sheath)

6. เทปทองแดง (copper tape) เป็นแผ่นเทปทองแดงทำหน้าที่พันทับชิลด์โลหะอีกชั้นหนึ่งและทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของชีลด์โลหะ (Metallic Shield) นอกจากนั้นยังช่วยให้หน้าหน้าสัมผัสระหว่างชีลด์โลหะกับเทปมัดเรียบไม่มีช่องว่างอีกด้วย

7. เทปมัด (binding tape) เป็นเทปฉนวนกั้นระหว่างชุดชิลด์โลหะกับเปลือกฉนวนชั้นนอกสุด เทปมัดปกติทำมาจาก polyester tape ทำหน้าที่ช่วยให้ผิวสัมผัสของชีลด์โลหะกับเปลือกฉนวนเรียบ และช่วยเป็นชั้นกันน้ำได้ด้วย

8. เปลือก (Sheath) หรือที่เรียกว่า Jacket ทำหน้าที่ป้องกันแรงกระแทกเสียดสีต่างๆขณะติดตั้งสายเคเบิล และป้องกันน้ำเข้าสู่ชั้นฉนวน วัสดุที่ใช้ทำเป็นเปลือกคือ PE หรือ PVC ซึ่งสายไฟฟ้าที่ติดตั้งใต้ดินส่วนมากจะเลือกใช้เปลือกชนิด PE ซึ่งมีคุณสมบัติการกันน้ำได้ดีกว่า PVC

5. ชนิดของสายไฟฟ้าแรงต่ำสามารถแบ่งตามวัสดุฉนวนได้กี่ชนิด อะไรบ้าง

ตอบ ชนิดของสายไฟฟ้าแรงต่ำสามารถแบ่งตามวัสดุฉนวนได้ 4 ชนิด ได้แก่

1. สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน PVC
2. สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE

3. สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทนไฟ

4. สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI

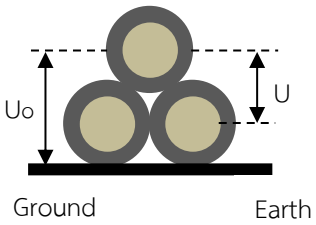
6. กฟภ. และ กฟน. มีข้อกำหนดการใช้งานของสายตัวนำอะลูมิเนียมแรงต่ำไว้อย่างไร

ตอบ การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้สายตัวนำอะลูมิเนียมนี้ เดินเป็นสายประธาน (Main) หรือสายป้อน (Feeder) ในระบบจำหน่ายแรงต่ำภายนอกอาคาร โดยเดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศเท่านั้น สำหรับในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวงไม่อนุญาตให้ใช้สายอลูมิเนียมนี้เดินในระบบเมนแรงต่ำภายในอาคารเด็ดขาดต้องเป็นสายทองแดงเท่านั้น ส่วนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังอนุญาตให้ใช้เดินในระบบเมนจากเสาไฟฟ้าไปชายคาบ้านได้ สายชนิดนี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.293-2541

7. จงอธิบายลักษณะของสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก. 11–2553 และมอก. 11 เล่ม 101–2559

ตอบ สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก. 11–2553 เป็นสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ใช้อนุกรมมาตรฐาน IEC 60227 เป็นมาตรฐานอ้างอิง มีสาระสำคัญดังนี้

1) พิกัดแรงดัน พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้เป็น Uo/U ไม่เกิน 300/500 V และ 450/750 V การเทียบวัดดูจากรูปด้านล่าง เช่น แรงดัน 300/500 V หมายถึง พิกัดแรงดันใช้งาน RMS ระหว่างสายเส้นไฟ กับดิน ไม่เกิน 300 V และระหว่างสายเส้นไฟ กับ สายเส้นไฟ ไม่เกิน 300 x √3 = 520 ~ 500 V เป็นต้น



รูปเทียบพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด Uo/U

2) อุณหภูมิ ได้กำหนดอุณหภูมิใช้งานไว้ 2 ค่า จากคุณสมบัติฉนวนดังนี้

- PVC/C สำหรับสายไฟฟ้าติดตั้งถาวร อุณหภูมิใช้งาน 70 °C
- PVC/D สำหรับสายไฟฟ้าอ่อน (Flexible Cable) อุณหภูมิใช้งาน 70 °C
- PVC/E สำหรับสายทนความร้อนที่ใช้ในอาคาร อุณหภูมิใช้งาน 90 °C

3) สีฉนวน ได้กำหนดโค้ดสีของสายไฟฟ้าไว้ดังนี้

สายนิวทรัล (Neutral) สีฟ้า

สายดิน (Ground) สีเขียวแถบเหลือง เขียวเปลือย

สายเส้นไฟ A, B และ C สีน้ำตาล สีดำ สีเทา ตามลำดับ

สำหรับสายแกนเดียวที่มีขนาดตั้งแต่ 16 mm^2 ขึ้นไปอาจทำเครื่องหมายที่ปลายสายแทนสีฉนวนได้

4) ชนิดสายไฟฟ้า เล่มที่ 1 – 5 เรียกสายไฟฟ้าแต่ละชนิดเป็นรหัสชนิด การกำหนดรหัสชนิดจะใช้หมายเลข 2 ตัว ตามหลังมาตรฐานอ้างอิง สายรหัสชนิดที่นิยมใช้งานมีดังรูปด้านล่าง



รหัสชนิด 60227 IEC 01



รหัสชนิด 60227 IEC 02



รหัสชนิด 60227 IEC 05



รหัสชนิด 60227 IEC 06



รหัสชนิด 60227 IEC 10



รหัสชนิด 60227 IEC 43



รหัสชนิด 60227 IEC 52



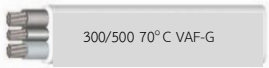
รหัสชนิด 60227 IEC 53

รูปชนิดสายไฟฟ้า มอก. 11-2553 นิยมใช้งาน

สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก. 11 เล่ม 101–2559 เป็นสายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานทั่วไป ชื่อเรียกและโครงสร้างตามมาตรฐานเดิม (มอก.11 เล่ม 101-2553) ดังรูปด้านล่าง แต่ได้เพิ่มตัวนำขนาดเล็ก เฉพาะชนิด NYY, NYY-G, VCT และ VCT-G เท่านั้น โดยเริ่มขนาดตัวนำตั้งแต่ 1 mm^2 เพื่อเป็นการแก้ปัญหาในกรณีมีความจำเป็นต้องใช้สายไฟฟ้าหลายแกนที่มีตัวนำขนาดเล็กสำหรับงานติดตั้งกลุ่มเดินร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง โดยมาตรฐาน มอก. 11 เล่ม 101-2559 นี้ มีผลบังคับตั้งแต่วันที่ 25 พฤศจิกายน 2563 เป็นต้นมา



รหัสชนิด VAF



รหัสชนิด VAF-G



รหัสชนิด VCT



รหัสชนิด VCT-G



รหัสชนิด NYY

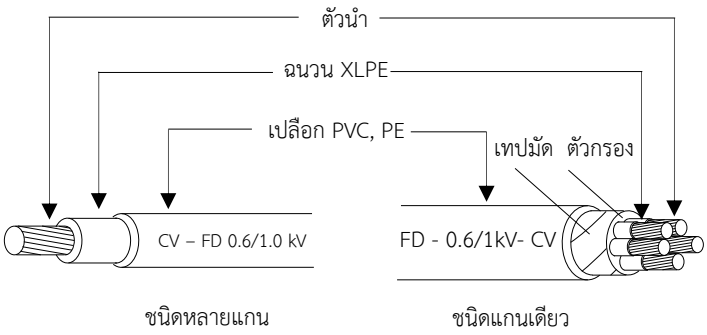


รหัสชนิด NYY-G

รูปชนิดสายไฟฟ้า มอก. 11 เล่ม 101-2559

8. จงอธิบายลักษณะของสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ตามมาตรฐาน IEC 60502–1

ตอบ สายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ตามมาตรฐาน IEC 60502–1 เป็นสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ตัวนำทองแดงที่หุ้มด้วยฉนวน XLPE มีคุณสมบัติพิเศษคือ ทนอุณหภูมิได้สูง มีความแข็งแรง ทนต่อแรงเสียดสีและการกัดกร่อนทางเคมีได้ดี จากคุณสมบัติดังกล่าวส่งผลให้มีขนาดพิกัดรับกระแสได้สูงกว่าสายไฟฟ้าตาม มอก. 1-2553 อยู่มาก ปัจจุบันจึงนิยมใช้งานสายชนิดมากขึ้น สายชนิดนี้จะผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502-1 มีพิกัดทนแรงดัน Uo/U ได้ถึง 600/1,000 V อุณหภูมิใช้งาน 90 °C เรียกสายชนิดนี้ว่าสายชนิด CV หรือสาย XLPE การใช้งานเหมือนกันกับสายชนิด NYY มีทั้งชนิดสายแกนเดียวและหลายแกน ดังรูปด้านล่าง



รูปสายชนิด CV หรือ XLPE มาตรฐาน IEC 60502-1

9. จงบอกโครงสร้างของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทนไฟ FRC และสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI

<u>ตอบ</u> สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทนไฟ เป็นสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE เปลือกเป็นฉนวนทนไฟทำด้วยสารจำพวก Low smoke Free, Halogen (LSFH) ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ต้องการให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ระยะหนึ่งในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ เช่น วงจรไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำดับเพลิง วงจรไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน และวงจรไฟฟ้าแจ้งเหตุเพลิงไหม้ เป็นต้น สายทนไฟนี้เรียกย่อว่าสายไฟฟ้า FRC (Fire Resistance Cable) ดังรูปด้านล่าง มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานดังนี้

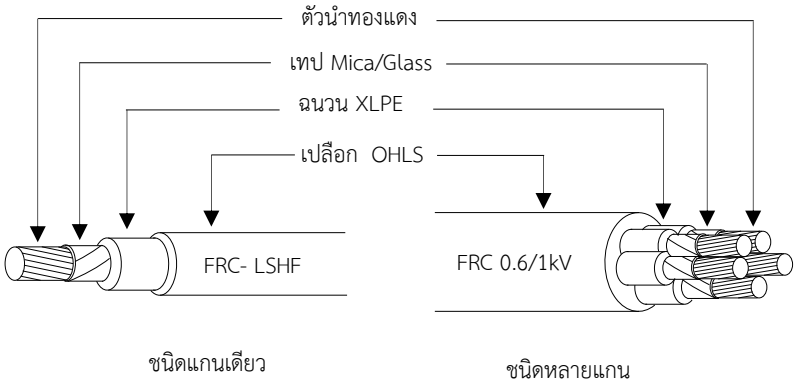
1. คุณสมบัติต้านทานการติดไฟ (Fire Resistance) คือสายไฟฟ้าที่ทนต่อการติดไฟ ไม่ก่อให้เกิดไฟลุกลาม และหากขณะเกิดเพลิงไหม้อยู่สายไฟฟ้ายังสามารถจ่ายกระกระแสได้ปกติ กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ BS 6387 หรือ IEC 60331

2. คุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (Flame retardant) คือเมื่อเกิดเพลิงไหม้ สายไฟฟ้าจะมีคุณสมบัติการหน่วงเหนี่ยวลูกลามของการลุกไหม้ของสายไฟฟ้า ทำให้บริเวณที่ถูกไฟไหม้จะไม่ขยายเป็นวงกว้างและเมื่อเอา

แหล่งกำเนิดไฟออกแล้ว ไฟก็จะดับเอง (Self-extinguish) กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 60332-1 หรือ IEC 60332-3

3. คุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acid and corrosive Gas Emission) คือเมื่อหลังเกิดการลุกไหม้สายไฟฟ้าจะไม่ปล่อยก๊าซกรดออกมาทำปฏิกิริยากับโครงสร้างโลหะและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 60754-2

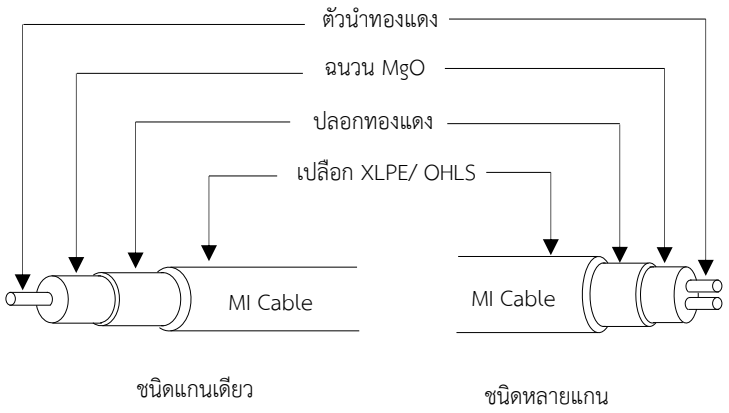
4. คุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke Emission) คือเมื่อเกิดเพลิงลุกไหม้สายไฟฟ้า จะไม่ปล่อยควันออกมากระจายไปทั่ว ซึ่งทำให้คนเสียชีวิตได้ กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 61034-2



รูปที่ 4.12 สายไฟฟ้าทนไฟ FRC (Fire Resistance Cable)

สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI เป็นสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มด้วยฉนวนแร่กันความร้อนแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide, MgO) อัดแน่นและหุ้มด้วยปลอกทองแดงชนิดไร้รอยต่ออีกชั้นหนึ่ง มีคุณสมบัติทนไฟหรือต้านทานการติดไฟดีมาก สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องขณะเกิดเพลิงไหม้ บางรุ่นจะมีเปลือกหุ้มทับปลอกทองแดงอีกชั้นหนึ่ง ดังรูปด้านล่าง เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อนหรือระบุสีได้ สายชนิดนี้ไม่สามารถเดินร้อยท่อได้ การติดตั้งสามารถยึดกับผนังหรือวางบนรางเคเบิลได้โดยตรง มีทั้งชนิดแกนเดียวและหลายแกน สำหรับการตัดต่อสายชนิดนี้ต้องปิดผนึกด้วยอุปกรณ์ชนิดพิเศษที่ผู้ผลิตออกแบบมาโดยเฉพาะ เพื่อป้องกันความชื้นและผงแมกนีเซียมออกไซด์หลุดออกมา สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน MI เป็นสายเคเบิลความร้อนที่คงทนและมีอายุการ

ใช้งานยาวนาน เหมาะสำหรับติดตั้งในสถานที่อันตราย



รูปสายไฟฟ้าฉนวน MI (Mineral Insulated Copper Cable , MICC)

10. องค์ประกอบในการพิจารณาเลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าใช้งาน มีสาระสำคัญอย่างไรบ้าง

<u>ตอบ</u> องค์ประกอบการเลือกสายไฟฟ้า มีสาระสำคัญ 6 ข้อดังนี้ (ชื่อตารางอ้างตาม วสท.2564)

1. พิกัดแรงดัน สายไฟฟ้าที่ใช้งานจะต้องสามารถทนต่อแรงดันใช้งานได้ เช่น สายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก. 11-2553 ได้กำหนดแรงดันใช้งานเอาไว้ 2 ระดับ คือ U0/U ไม่เกิน 300/500 V และ 450/750 V ดังแสดงใน ตารางที่ 5-48

2. พิกัดกระแส คือ ความสามารถในการนำกระแสของสายไฟฟ้าที่จะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านปริมาณหนึ่งอย่างต่อเนื่องในขณะใช้งาน โดยไม่ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายมีค่าเกินอุณหภูมิที่กำหนดไว้ เช่น ในตารางที่ 5-20 ถึง 5-39 แสดงพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง และตารางที่ 5-42 แสดงพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำอลูมิเนียมแรงต่ำ ซึ่งตารางทั้งหมดไม่ได้กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าตกด้วย ดังนั้นถึงแม้ว่าจะได้พิกัดกระแสหรือขนาดสายไฟฟ้าแล้ว จะต้องพิจารณาแรงดันไฟฟ้าตกประกอบด้วย

3. ชนิดของฉนวนที่หุ้มสายไฟฟ้า ชนิดของฉนวนที่หุ้มสายไฟฟ้านี้เป็นตัวแปรที่สำคัญ เนื่องจากกระแสที่ไหลในสายไฟฟ้าจะทำให้เกิดความร้อน และความร้อนนี้จะถูกถ่ายเทมายังฉนวน ซึ่งหากหุ้มด้วยฉนวนที่ทนความร้อนได้สูงกว่าก็จะนำกระแสได้สูงกว่าด้วยเมื่อเทียบขนาดตัวนำเท่ากัน วัสดุฉนวน เช่น PVC, XLPE หรือฉนวน MI ดังแสดงในตารางที่ 5-43 ถึง 5-44 สำหรับการเดินสายชนิดฉนวน 2 ชนิดขึ้นไปในช่องเดินสายเดียวกันให้คิดพิกัดของอุณหภูมิใช้งานต่ำสุด เช่น สายไฟฟ้าชนิดหุ้มฉนวน PVC เดินร่วมในช่องเดียวกันกับสายไฟฟ้าชนิดหุ้มฉนวน XLPE ขนาดกระแสสายไฟชนิดหุ้มฉนวน XLPE ต้องคิดที่อุณหภูมิ 70 °C จะใช้ค่าจากตารางที่อุณหภูมิ 90 °C ไม่ได้

4. อุณหภูมิโดยรอบ ค่าความต้านทานของตัวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นค่าอุณหภูมิบริเวณรอบ ๆ ของสายไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้พิกัดของกระแสลดลงจากค่าที่กำหนดไว้ในตาราง โดยจะต้องมีตัวคูณปรับลดค่ากระแส ดังแสดงในตารางที่ 5-43 ถึง 5-44

5. รูปแบบการติดตั้ง หรือกลุ่มการติดตั้ง เนื่องจากการติดตั้งสายไฟฟ้า สามารถทำได้หลายกลุ่มการติดตั้ง เช่น เดินลอยในอากาศ เดินร้อยท่อเกาะผนังหรือฝังใต้ดิน เดินฝังดินโดยตรง การติดตั้งแต่ละกลุ่มมีการระบายความร้อนต่างกัน ถ้าติดตั้งที่ระบายความร้อนได้ดีจะส่งผลให้สายไฟฟ้านำกระแสได้สูงขึ้นด้วย รูปแบบการติดตั้งในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ได้กำหนดรูปแบบการติดตั้งไว้ 7 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 5-47 และกรณีที่มีกลุ่มการติดตั้งผสมระหว่างการเดินสายในอากาศหรือเกาะผนังในอากาศ และการเดินสายในท่อหากความยาวที่เดินในท่อไม่เกินครึ่งหนึ่งของความยาวสายทั้งหมด หรือสายที่เดินในท่อยาวไม่เกิน 6 เมตร แล้วแต่ค่าใดจะน้อยกว่า อนุญาตให้ใช้ค่าขนาดกระแสตามกลุ่มการติดตั้งสายในอากาศหรือเกาะผนังในอากาศได้

6. กลุ่มวงจร ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางเป็นขนาดกระแสสำหรับการเดินสาย 1 กลุ่มวงจรเท่านั้น หากมีสายไฟฟ้าเดินในช่องเดินสายเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร โดยไม่นับสายดินบริภัณฑ์ไฟฟ้า จะต้องมีตัวคูณปรับลดค่ากระแสด้วย แสดงในตารางที่ 5-8 ตัวคูณปรับสำหรับช่องเดินสายเดียวกัน ตารางที่ 5-40 ถึง 5-41 ตัวคูณปรับสำหรับวางบนลางเคเบิล และตารางที่ 5-45 ถึง 5-46 ตัวคูณสำหรับเดินฝังดิน การนับกลุ่มวงจรให้ถือว่าวงจร 1 เฟส 2 สายนับเป็น 1 กลุ่มวงจร และวงจร 3 เฟส 4 สายนับเป็น 1 กลุ่มวงจร และกรณีสายไฟฟ้าแกนเดียวเดินทั้งวงจร 1 เฟส และ 3 เฟสในช่องเดินสายเดียวกันจำนวนตัวนำที่มีกระแสไหล n เส้น (รวมสายนิวทรัลของวงจร 1 เฟส 2 สายด้วย) การนับกลุ่มวงจรอาจพิจารณาเป็นวงจร 1 เฟสได้ n/2 กลุ่มวงจร หรือวงจร 3 เฟสได้ n/3 กลุ่มวงจร โดยให้เลือกใช้แบบเดียวเท่านั้น สำหรับกรณีเดินสายบนรางเคเบิลหลายรางให้คิดกลุ่มวงจรที่รางที่มีกลุ่มวงจรมากสุด <u>ยกเว้น</u>กรณีต่อไปนี้ไม่ต้องมีตัวคูณปรับค่ากระแสกลุ่มวงจร 1) สายในส่วนที่อยู่ในนิปเพิล (nipple) และมีความยาวไม่เกิน 0.6 เมตร

2) กลุ่มวงจรที่รู้แน่นอนว่ามีกระแสโหลด ไม่เกิน 30 % ของพิกัดกระแสเมื่อคิดตัวคูณปรับค่าที่ได้นับรวมจำนวนกลุ่มวงจรนั้นด้วยแล้ว

3) สายที่มีระบบแรงดันที่ต่างกันวางในช่องเดินสายเดียวกันให้ใช้ตัวคูณปรับลดกระแส เฉพาะสำหรับสายวงจรกำลัง วงจรแสงสว่าง และวงจรควบคุมที่มีโหลดต่อเนื่องเท่านั้น

11. วงจรไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย จำนวน 1 วงจร ใช้สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 ขนาด 25 mm^2 เดินร้อยท่อเกาะผนัง อุณหภูมิใช้งานโดยรอบ 42°C ขนาดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าเส้นนี้เป็นเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 เป็นสายแกนเดียว

ตัวนำสายทองแดงหุ้มฉนวน PVC



เดินร้อยท่อเกาะผนัง

กลุ่มที่ 2 จำนวนตัวนำกระแส 2 (ตารางที่ 5-20)

ค่ากระแสของสายไฟฟ้าขนาด 25 mm^2 เท่ากับ 88 A

อุณหภูมิโดยรอบ 42 °C ที่แตกต่างจาก 40 °C ต้องใช้ตัวคูณลดกระแส (ตารางที่ 5-43)

ได้ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าขนาด 25 mm^2 ที่ปรับแล้วเท่ากับ 88 x 0.91 = 80.08 A

12. รูปแบบการติดตั้งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 แบ่งได้กี่รูปแบบ แต่ละรูปแบบมีรายละเอียดอย่างไร

ตอบ รูปแบบการติดตั้งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 แบ่งได้ 7 รูปแบบแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

รูปแบบที่ 1 สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกั้น

รูปแบบที่ 2 สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกั้น

รูปแบบที่ 3 สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก เดินเกาะผนังหรือเพดานที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน

รูปแบบที่ 4 สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

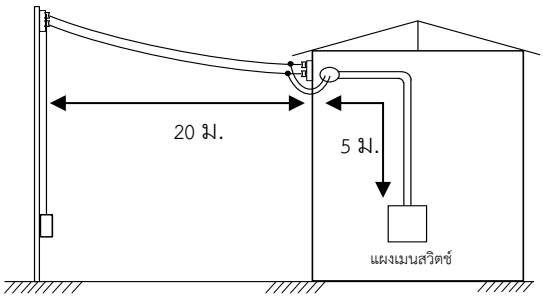
รูปแบบที่ 5 สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะ หรืออโลหะฝังดิน

รูปแบบที่ 6 สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง

รูปแบบที่ 7 สายเคเบิลแกนเดียว หรือหลานแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลมีฝาปิดและไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได

13. สายเมนเข้าอาคาร 1 เฟส 2 สาย จำนวน 1 วงจร ใช้สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 ขนาด 16 mm^2 เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศแนวตั้งจากเสาไฟฟ้ามาถึงตัวอาคารยาว 20 เมตร ต่อจากนั้นเดินร้อยท่อเกาะผนังอีก 5 เมตร ถึงแผงเมนสวิตช์ อุณหภูมิใช้งานโดยรอบไม่เกิน 41°C ขนาดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าเส้นนี้เป็นเท่าใด

วิธีทำ



ครึ่งหนึ่งของความยาวของสายเมนทั้งหมด

เท่ากับ (20 + 5)/2 = 12.5 เมตร

หรือสายที่เดินในท่อยาวไม่เกิน 6 เมตร

แล้วแต่ค่าในจะน้อยกว่า

ค่าที่น้อยคือ 6 เมตร (เทียบกับ 12.5 เมตร)

ดังนั้นสายที่เดินร้อยท่อ 5 เมตร ซึ่งไม่เกิน 6 เมตร เลือกกลุ่มการติดตั้งกลุ่ม 4 (ตารางที่ 5-22)

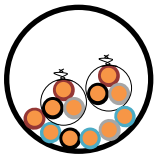
ได้ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าขนาด 16 mm^2 เท่ากับ 78 A (ไม่คิดตัวคูณลด)

14. วงจรไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 วงจร และวงจรไฟฟ้า 3 เฟส จำนวน 2 วงจร ใช้สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 ขนาด 2.5 mm^2 ทั้งหมด เดินร่วมกันในท่อร้อยสายเกาะผนัง ขนาดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละเส้นเป็นเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

วงจรไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 วงจร

มีจำนวนตัวนำกระแสเท่ากับ 2 x 3 = 6 เส้น



วงจรไฟฟ้า 3 เฟส จำนวน 2 วงจร

มีจำนวนตัวนำกระแสเท่ากับ 3 x 2 = 6 เส้น

รวมจำนวนตัวนำกระแส n = 12 เส้น

จากตารางที่ 5-8 จะได้ตัวคูณปรับค่า

คิดแบบวงจร 1 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/2 = 12/2 = 6 ตัวปรับค่าคือ 0.57

คิดแบบวงจร 3 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/3 = 12/3 = 4 ตัวปรับค่าคือ 0.65

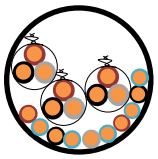
ดังนั้นจากตารางที่ 5-20 จะได้ขนาดกระแสของสาย 2.5 mm^2 เมื่อคิดตัวคูณปรับค่าแล้ว

คิดแบบวงจร 1 เฟส (2 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 21 x 0.57 = 11.97 A หรือ

คิดแบบวงจร 3 เฟส (3 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 18 x 0.65 = 11.70 A

15. วงจรไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 5 วงจร และวงจรไฟฟ้า 3 เฟส จำนวน 3 วงจร ใช้สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 ขนาด 2.5 mm^2 และ 6 mm^2 ตามลำดับ เดินร่วมกันในช่องเดินสายเกาะผนัง ซึ่งตรวจสอบพบว่า วงจรไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 วงจร มีกระแสที่ทราบแน่นอนแล้วเท่ากับ 2.2 A จงหาขนาดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละขนาด

<u>วิธีทำ</u>



รวมจำนวนตัวนำกระแส n = 19 เส้น

จากตารางที่ 5-8 จะได้ตัวคูณปรับค่า

คิดแบบวงจร 1 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/2 = 19/2 = 9.5 ตัวปรับค่าคือ 0.475

(ค่าเฉลี่ยระหว่าง 9 กลุ่มวงจร และ 10 กลุ่มวงจร)

คิดแบบวงจร 3 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/2 = 19/3 = 6.33 ตัวปรับค่าคือ 0.555

(ค่าเฉลี่ยระหว่าง 6 กลุ่มวงจร และ 7 กลุ่มวงจร)

จากตารางที่ 5-20 จะได้ขนาดกระแสของสาย 2.5 mm^2 เมื่อคิดตัวคูณปรับค่าแล้ว

คิดแบบวงจร 1 เฟส (2 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 21 x 0.475 = 9.98 A

คิดแบบวงจร 3 เฟส (3 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 18 x 0.555 = 9.99 A

<u>แต่พบว่าวงจรไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 วงจร มีกระแสที่ทราบแน่นอนแล้วเท่ากับ 2.2 A</u>

ซึ่งไม่เกิน 30 % ของพิกัดกระแส เมื่อคิดตัวคูณปรับค่าแล้ว (30 % ของ 9.98 A เท่ากับ 2.99 A) จึงไม่ต้องนับ 2 กลุ่มวงจรนี้ จะได้จำนวนตัวนำกระแสรวม n = 15 เส้น คำนวณใหม่ได้ดังนี้

จากตารางที่ 5-8 จะได้ตัวคูณปรับค่า

คิดแบบวงจร 1 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/2 = 15/2 = 7.5 ตัวปรับค่าคือ 0.53

(ค่าเฉลี่ยระหว่าง 7 กับ 8 กลุ่มวงจร)

คิดแบบวงจร 3 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/3 = 15/3 = 5 ตัวปรับค่าคือ 0.60

จากตารางที่ 5-20 จะได้ขนาดกระแสของสาย 2.5 mm^2 เมื่อคิดตัวคูณปรับค่าแล้ว

คิดแบบวงจร 1 เฟส (2 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 21 x 0.53 = 11.13 A หรือ

คิดแบบวงจร 3 เฟส (3 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 18 x 0.60 = 10.80 A

และขนาดกระแสของสาย 6 mm^2 เมื่อคิดตัวคูณปรับค่าแล้ว

คิดแบบวงจร 1 เฟส (2 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 36 x 0.53 = 19.08 A หรือ

คิดแบบวงจร 3 เฟส (3 ตัวนำกระแส) เท่ากับ 31 x 0.60 = 18.60 A

16. วงจรไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230/400 V ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY แกนเดียวขนาด 120 mm^2 เดินสายควบ 3 กลุ่มวงจร วางเรียงชิดติดกันบนรางเคเบิลแบบบันไดแนวนอน จงหาขนาด

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า

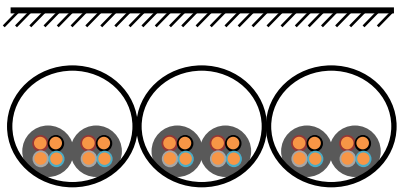
<u>วิธีทำ</u>



สายไฟฟ้าชนิด NYY ชนิดแกนเดียว ตัวนำสายทองแดงหุ้มฉนวน PVC
เดินวางเรียงชิดติดกันบนรางเคเบิล แบบบันไดแนวนอน กลุ่มที่ 7 (ตารางที่ 5-30)
ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าขนาด 120 mm^2 เท่ากับ 279 A
ตัวคูณปรับค่ากลุ่มวงจร เท่ากับ 0.96 (ตารางที่ 5-40) ส่วนตัวคูณปรับอุณหภูมิไม่คิด
ได้ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าขนาด 120 mm^2 เท่ากับ 279 x 0.96 = 268 A

17. วงจรไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230/400 V ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY 4 แกน ขนาด 4 × 150 mm^2 เดินร้อยท่อฝังดิน จำนวน 3 ท่อ ท่อละ 2 เส้น วางเรียงชิดติดกัน อุณหภูมิโดยรอบ 32 °C จงหาขนาดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้า

<u>วิธีทำ</u>



สายไฟฟ้าชนิด NYY หลายแกน
ตัวนำสายทองแดงหุ้มฉนวน PVC
เดินร้อยท่อฝังดิน กลุ่มที่ 5 (ตารางที่ 5-23)
ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าขนาด 150 mm^2 เท่ากับ 266 A
(ตัวปรับค่าตามหมายเหตุต่อท้ายตาราง) คือ
อุณหภูมิโดยรอบ 32 °C ที่แตกต่างจาก 30 °C ต้องใช้ตัวคูณลดกระแส เท่ากับ 0.94 (ตารางที่ 5-44)
จำนวนกลุ่มวงจร 2 วงจรในท่อเดียวกัน เท่ากับ 0.8 (ตารางที่ 5-8)
จำนวนท่อ (วงจร) 3 ท่อวางเรียงชิดติดกัน เท่ากับ 0.75 (ตารางที่ 5-46)
ขนาดกระแสสายไฟฟ้าเมื่อปรับค่าแล้วเท่ากับ 266 x 0.94 x 0.8 x 0.75 = 150 A

18. การเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลดมีกี่ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดอย่างไร

<u>ตอบ</u> การเลือกขนาดสายไฟฟ้าใช้งานจากโหลดมี 5 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดกระแสออกแบบ (Design Current, I_b) หรือหากระแสโหลด (I_L)

$$I_L = \frac{VA}{230} \quad ; \text{กรณีโหลดชนิด 1 เฟส}$$

$$I_L = \frac{VA}{\sqrt{3} \times 400} \quad ; \text{กรณีโหลดชนิด 3 เฟส}$$

เมื่อ

VA = ค่าโหลด หน่วย โวลต์-แอมแปร์

2. กำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (In) ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์

$I_n \geq I_b$ หรือ I_L ; โหลดทั่วไปจะเผื่อ 125 % ของ I_b หรือ I_L

เลือกหาขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (In) ที่มีจำหน่ายใกล้เคียงที่สูงขึ้น

3. เลือกชนิดสายไฟฟ้าและกลุ่มการติดตั้ง

การเลือกชนิดสายไฟฟ้าและกลุ่มการติดตั้งจะต้องมีความสัมพันธ์กัน ดังตารางด้านล่าง

- เลือกชนิดฉนวน PVC, XLPE หรืออื่นๆ จำนวนแกน 1, 2, 3, 4 หรือ 5 แกน
- เลือกกลุ่มการติดตั้ง กลุ่มที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 หรือกลุ่ม 7
- เลือกตารางสายที่ใช้

ตารางชนิดฉนวนสายไฟฟ้าและกลุ่มการติดตั้ง

กลุ่มการติดตั้ง		สายฉนวน PVC (มอก.11-2553)	สายฉนวน XLPE (IEC 60502-1)
กลุ่ม 1, 2	เดินในช่องเดินสาย หรือ ร้อยท่อในอากาศ	ตารางที่ 5-20	ตารางที่ 5-27
กลุ่ม 3	เดินเกาะผนังในอากาศ	ตารางที่ 5-21	ตารางที่ 5-21
กลุ่ม 4	เดินบนฉนวนลูกถ้วยอากาศ	ตารางที่ 5-22	ตารางที่ 5-28
กลุ่ม 5, 6	เดินฝังดินหรือร้อยท่อผังดิน	ตารางที่ 5-23	ตารางที่ 5-29
กลุ่ม 7	เดินบนรางเคเบิล	ตารางที่ 5-30 หรือ 5-30 (ก) หรือ 5-31	ตารางที่ 5-32 หรือ 5-32 (ก) หรือ 5-33
สำหรับสายฉนวน MI ตารางที่ 5-34 ถึง 5-35			
สำหรับสายแรงสูง ตารางที่ 5-36 ถึง 5-38			

4. หาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It)

$$I_t = \frac{I_n}{C_a \times C_g}$$; ค่า It จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ In เสมอ

เมื่อ

Ca = ตัวคุณปรับค่าอุณหภูมิ (Ambient Rating Factor)

Cg = ตัวคุณปรับค่ากลุ่มวงจร (Group Rating Factor)

โดยสามารถเลือกใช้ค่า Ca และ Cg ได้ตามตารางด้านล่าง

ตารางตัวคูณปรับค่ากระแสของสายไฟฟ้า

ตัวคูณปรับค่า	กลุ่มการติดตั้ง	ตารางที่ใช้อ้างอิง
Ca	เดินในช่องเดินสาย หรือ ร้อยท่อในอากาศ	ตารางที่ 5-43
	เดินเกาะผนังในอากาศ	
	เดินบนรางเคเบิล	
	เดินฝังดินหรือร้อยท่อฝังดิน	ตารางที่ 5-44
Cg	เดินในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน	ตารางที่ 5-8
	เดินบนรางเคเบิล	ตารางที่ 5-40 หรือ 5-40(ก) หรือ 5-41
	เดินฝังดินหรือร้อยท่อฝังดิน	ตารางที่ 5-45 หรือ 5-46

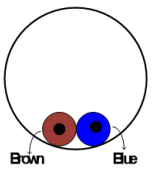
5. เลือกขนาดสายไฟฟ้า

- นำค่าพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It) ที่คำนวณได้ในข้อ 4 ไปเปิดตารางที่เลือกไว้ในข้อ 3
- เลือกขนาดสายไฟฟ้าที่มีขนาดใกล้เคียงที่สูงกว่า (It) ที่คำนวณได้

19. วงจรย่อย 1 เฟส 230 V จ่ายไฟให้ดวงโคม 15 ชุด แต่ละชุดมีโหลดรวม 200 VA เดินในท่อร้อยสายเกาะผนัง อุณหภูมิโดยรอบ 42 °C ใช้สายชนิด IEC 01 จงคำนวณหาอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินและขนาดของสายไฟฟ้า

<u>วิธีทำ</u>

ขั้นตอนที่ 1 หากระแสโหลด



$$I_L = \frac{VA}{230} = \frac{15 \times 200}{230} = 13.04 \text{ A}$$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน

$I_n \geq I_L$; $I_n \geq 13.04 \times 1.25 = 16.30$ A

เลือกใช้เครื่องป้องกันกระแสเกิน (CB) = 20 AT

ขั้นตอนที่ 3 เลือกชนิดและกลุ่มการติดตั้ง

สาย IEC 01 ฉนวน PVC 70 °C เป็นสายแกนเดียว

เดินในท่อร้อยสายเกาะผนัง กลุ่มที่ 2 (ตางรางที่ 5-20) แกนเดียว 2 ตัวนำกระแส

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It)

$$I_t \geq \frac{I_n}{C_a \times C_g}$$

เมื่อ Ca = 0.91 (ตารางที่ 5-43) เนื่องจากอุณหภูมิไม่เกิน 40 °C (42 °C)

Cg = 1.00 (ตารางที่ 5-8) หรือไม่คิดเนื่องจากไม่เกิน 1 กลุ่มวงจร

$$I_t \geq \frac{20}{0.91 \times 1.0} = 21.98 \text{ A}$$

ขั้นตอนที่ 5 เลือกขนาดสายไฟฟ้า

จากขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It) = 21.98 A เปิดตารางที่ 5-20

เลือกใช้สาย IEC 01 ในท่อร้อยสายขนาด 2 x 4 mm^2 (28 A)

20. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230/400 V มีวงจรย่อยชนิด 1 เฟส 3 วงจร วงจรละ 16.5 A ใช้สายนิวทรัล (Neutral) ร่วมกัน ใช้สาย IEC 01 เดินในท่อร้อยสายเกาะผนัง อุณหภูมิโดยรอบ 45 °C จงคำนวณหาขนาดของสายไฟฟ้า และถ้าวงจรย่อยของระบบไฟฟ้านี้ใช้นิวทรัลแยกกันแล้วร้อยในท่อร้อยสายเดียวกัน ขนาดของสายไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

<u>วิธีทำ</u>



ขั้นตอนที่ 1 หากระแสโหลด

I_L = 16.5 A

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

In ≥ 16.5 x 1.25 = 20.63 A ; เลือก CB = 25 AT

ขั้นตอนที่ 3 เลือกชนิดและกลุ่มการติดตั้ง

สาย IEC 01 ฉนวน PVC 70 °C เป็นสายแกนเดียว

ติดตั้งในท่อร้อยสายเกาะผนัง กลุ่มที่ 2 (ตางรางที่ 5-20) ช่อง 3 ตัวนำกระแส

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ปกติจะออกแบบให้สมดุล (Balanced)

ถือว่าสายนิวทรัลไม่มีกระแส จำนวนตัวนำกระแส 3 เส้น หรือ 1 กลุ่มวงจร

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It)

$$I_t \geq \frac{25}{0.91 \times 1.0} = 27.47 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.91 (ตารางที่ 5-43) เนื่องจากอุณหภูมิ 45 °C

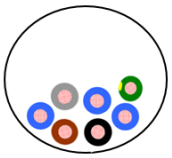
Cg = 1.00 (ตารางที่ 5-8) หรือไม่คิดเนื่องจากไม่เกิน 1 กลุ่มวงจร

ขั้นตอนที่ 5 เลือกขนาดสายไฟฟ้า

จากขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It) = 27.47 A เปิดตารางที่ 5-20

เลือกใช้สาย IEC 01 ในท่อร้อยสายขนาด 4 x 6 mm^2 (31 A)

หากเดินนิวทรัลแยกกันในท่อเดียวกัน



ขั้นตอนที่ 3 เลือกชนิดและกลุ่มการติดตั้ง

ชนิดสายและกลุ่มการติดตั้งยังเหมือนเดิม

กลุ่มที่ 2 (ตางรางที่ 5-20) แต่ช่อง 2 ตัวนำกระแส

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย หากใช้นิวทรัลแยกกัน ถือว่าสายนิวทรัลมีกระแส

จำนวนตัวนำกระแส 6 เส้น หรือ 3 กลุ่มวงจร (1 เฟส 3 วงจร)

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It)

$$I_t \geq \frac{25}{0.91 \times 0.7} = 39.25 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.91 (ตารางที่ 5-43) เนื่องจากอุณหภูมิ 43 °C

Cg = 0.70 (ตารางที่ 5-8) เนื่องจากกลุ่มวงจร 3 กลุ่มวงจร

ขั้นตอนที่ 5 เลือกขนาดสายไฟฟ้า

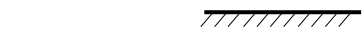
จากขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It) = 39.25 A เปิดตารางที่ 5-20

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 3 (2 x 10 mm^2) (50 A)

และอุปกรณ์ป้องกัน (CB) = 25 AT เท่าเดิม

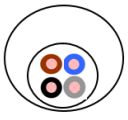
21. สายป้อนเข้าอาคารระบบ 3 เฟส 4 สาย 230/400 V มีโหลดรวม 100 kVA จงคำนวณหาขนาดของสายป้อน เมื่อเลือกใช้สายชนิด IEC 01 และสายชนิด XLPE เดินสายร้อยท่อในอากาศ และเลือกใช้สาย NYY 4 แกน เดินร้อยท่อฝังดิน กำหนดให้อุณหภูมิโดยรอบบนอากาศเท่ากับ 41 °C และใต้ดิน 31 °C

<u>วิธีทำ</u>





สาย IEC 01, XLPE



สาย NYY

ขั้นตอนที่ 1 หากระแสโหลด

$$I_L = \frac{VA}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$I_L = \frac{100 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 144 \text{ A}$$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

$I_n \geq 144 \times 1.25 \geq 180$ A ; เลือก CB = 200 AT

ขั้นตอนที่ 3 เลือกชนิดและกลุ่มการติดตั้ง (3 กรณี)

สาย IEC 01 ฉนวน PVC กลุ่มที่ 2 (ตารางที่ 5-20) แกนเดียว 3 ตัวนำกระแส

สาย XLPE ฉนวน XLPE กลุ่มที่ 2 (ตารางที่ 5-27) แกนเดียว 3 ตัวนำกระแส

สาย NYY ฉนวน PVC กลุ่มที่ 5 (ตารางที่ 5-23) หลายแกน 3 ตัวนำกระแส

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It)

กรณีสาย IEC 01

$$I_t \geq \frac{200}{0.91 \times 1.0} \geq 220 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.91 (ตารางที่ 5-43) เนื่องจากอุณหภูมิ 41 °C

Cg = 1.00 (ตารางที่ 5-8) ไม่คิดเนื่องจากไม่เกิน 1 กลุ่มวงจร

กรณีสาย XLPE

$$I_t \geq \frac{200}{0.96 \times 1.0} \geq 208 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.96 (ตารางที่ 5-43) เนื่องจากอุณหภูมิ 41 °C

Cg = 1.00 (ตารางที่ 5-8) ไม่คิดเนื่องจากไม่เกิน 1 กลุ่มวงจร

กรณีสาย NYY

$$I_t \geq \frac{200}{0.94 \times 1.0} \geq 213 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.94 (ตารางที่ 5-44) เนื่องจากอุณหภูมิ 31 °C

Cg = 1.00 (ตารางที่ 5-8) ไม่คิดเนื่องจากไม่เกิน 1 กลุ่มวงจร

ขั้นตอนที่ 5 เลือกขนาดสายไฟฟ้า

สาย IEC 01 เดินร้อยท่อในอากาศ

จาก $I_t \geq 220$ A (ตารางที่ 5-20) ได้สาย IEC 01 ขนาด 4 x 150 mm^2 (228 A)

สาย XLPE แกนเดียวเดินร้อยท่อในอากาศ

จาก It ≥ 208 A (ตารางที่ 5-27) ได้สาย XLPE ขนาด 4 x 95 mm^2 (245 A)

สาย NYY 4 แกน เดินร้อยท่อฝังดิน

จาก $I_t \geq 213$ A (ตารางที่ 5-23) ได้สาย NYY 4/C x 120 mm^2 (234 A)

22. สายเมนแรงต่ำจากหม้อแปลงเดินบนรางเคเบิลแบบบันได หม้อแปลง 1000 kVA, 22 kV/ 230–400 V อุณหภูมิโดยรอบ 45 °C ใช้สายควบ 4 ชุด ชนิด NYY แกนเดียว วางชิดกัน และวางห่างเรียงในแนวนอน จงหาขนาดของสายไฟฟ้า และในกรณีเดียวกันหากเปลี่ยนใช้สายชนิด XLPE จะใช้สายขนาดเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>



ขั้นตอนที่ 1 หากระแสโหลด

หม้อแปลง 1000 kVA , 22 kV / 230 – 400 V กระแสพิกัดด้านแรงต่ำ

$$I_L = \frac{1000 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 1443 \text{ A}$$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

$I_n \leq 1443 \times 1.00 \leq 1443$ A ; เลือก CB = 1400 AT (ชนิดปรับตั้งได้)

<u>กรณีนี้</u> เนื่องจากคำนวณจากพิกัดหม้อแปลงไม่ได้คิดจากโหลดที่ใช้จริง (วสท.2564)

กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกันไม่เกิน 100 % ของพิกัดกระแสหม้อแปลง (ตารางที่ 8.7)

ขั้นตอนที่ 3 เลือกชนิดและกลุ่มการติดตั้ง

ชนิดสาย NYY (ตางรางที่ 5-30) และชนิดสาย XLPE (ตางรางที่ 5-32)

กลุ่มการติดตั้งกลุ่ม 7 เดินสายบนรางเคเบิลแบบบันได

สายแกนเดียววางชิดกันและห่างกันในแนวนอน

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (It)

กรณีสาย NYY วางชิดกันในแนวนอน

$$I_t \geq \frac{1400/4}{0.91 \times 0.94} \geq 409 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.91 (ตารางที่ 5-43) ฉนวน PVC อุณหภูมิ 45 °C

Cg = 0.94 (ตารางที่ 5-40) รางเคเบิลแบบบันได 4 กลุ่มวงจร

กรณีสาย NYY วางห่างกันในแนวนอน

$$I_t \geq \frac{1400/4}{0.91 \times 0.96} \geq 401 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.91 (ตารางที่ 5-43) ฉนวน PVC อุณหภูมิ 45 °C

Cg = 0.96 (ตารางที่ 5-40) รางเคเบิลแบบบันได 4 กลุ่มวงจร

กรณีสาย XLPE วางชิดกันในแนวนอน

$$I_t \geq \frac{1400/4}{0.96 \times 0.94} \geq 388 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.96 (ตารางที่ 5-43) ฉนวน XLPE อุณหภูมิ 45 °C

Cg = 0.94 (ตารางที่ 5-40) รางเคเบิลแบบบันได 4 กลุ่มวงจร

กรณีสาย XLPE วางห่างกันในแนวนอน

$$I_t \geq \frac{1400/4}{0.96 \times 0.96} \geq 380 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.96 (ตารางที่ 5-43) ฉนวน XLPE อุณหภูมิ 45 °C

Cg = 0.96 (ตารางที่ 5-40) รางเคเบิลแบบบันได 4 กลุ่มวงจร

กรณีแทนค่า In = 1400/2 เนื่องจากเป็นสายควบ 4 เส้น ซึ่งในตารางพิกัดกระแสสายไฟฟ้าระบุขนาดเส้นเดียวหรือแกนเดียว

ขั้นตอนที่ 5 เลือกขนาดสายไฟฟ้า

กรณีสาย NYY วางชิดติดกัน

จาก $I_t \geq 409$ A (ตารางที่ 5-30) ได้สายขนาด 4 (4 x 240 mm^2) (441 A)

กรณีสาย NYY วางห่างกัน

จาก It ≥ 401 A (ตารางที่ 5-30) ได้สายขนาด 4 (4 x 185 mm^2) (453 A)

กรณีสาย XLPE วางชิดติดกัน

จาก It ≥ 388 A (ตารางที่ 5-32) ได้สายขนาด 4 (4 x 150 mm^2) (422 A)

กรณีสาย XLPE วางห่างกัน

จาก It ≥ 380 A (ตารางที่ 5-32) ได้สายขนาด 4 (4 x 95 mm^2) (391 A)

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 5 การต่อลงดิน

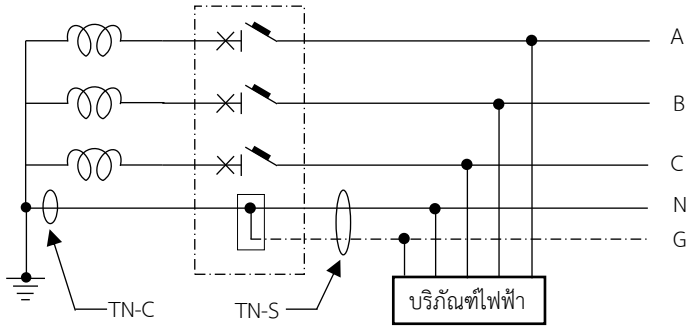
1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าและของบริภัณฑ์ไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์และวิธีการอย่างไรบ้าง

ตอบ การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (system grounding) มีวัตถุประสงค์เพื่อจำกัดแรงดันเกิน (Over Voltage) และให้ค่าแรงดันเทียบดินขณะระบบไฟฟ้าทำงานปกติมีค่าอยู่ตัว มีวิธีการคือต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน เช่นผู้ใช้ไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ ต้องต่อระบบไฟฟ้าลงดิน ระบบไฟฟ้าที่ต่อลงดินต้องเป็นเส้นเดียวกันกับการไฟฟ้าฯ ปกติคือสายนิวทรัล (Neutral) นั้นเอง

การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (equipment grounding) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ส่วนที่เป็นโลหะที่ต่อถึงกันตลอดนี้มีศักดาไฟฟ้าเท่ากับดิน ทำให้ปลอดภัยจากการถูกไฟฟ้าดูด และช่วยให้เครื่องป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วตามที่ออกแบบไว้ มีวิธีการคือต่อส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของบริภัณฑ์ไฟฟ้าลงดิน เช่น ต่อจากโครงหรือเปลือกที่เป็นโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าลงดิน

2. การต่อลงดินสำหรับประเทศไทย การไฟฟ้ากำหนดให้ใช้รูปแบบการต่อลงดินตามมาตรฐานใด และมีวิธีการต่ออย่างไร

ตอบ การไฟฟ้าฯ กำหนดให้ใช้รูปแบบการต่อลงดินตามมาตรฐาน IEC 60364-3 คือระบบ TN–C-S System (Terra-Neutral-Combined-Separate) เป็นมาตรฐานการติดตั้งระบบสายดินภายในอาคาร มีวิธีการต่อคือรต่อสายนิวทรัลกับสายดินป้องกันร่วมกันที่ต้นทาง (TN-C) และปลายทางให้แยกออกจากกัน (TN-S) ดังรูปด้านล่าง



รูปการต่อลงดินระบบ TN-C-S System

3. บ้านหลังหนึ่งใช้สายไฟฟ้าเมนชนิด IEC 01 ขนาด 2 × 25 mm^2 จงระบุขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า

วิธีทำ

จากตารางที่ 4-1 (วสท.2564) สายเมนใช้ขนาด 25 mm^2

ขนาดตัวนำประธานไม่เกิน 35 mm^2

ใช้สายต่อหลักดินขนาด 10 mm^2

4. สถานประกอบการแห่งหนึ่ง ใช้ระบบ 3 เฟส 4 สาย ใช้สายไฟฟ้าเมนควบชนิด IEC 01 ขนาด 3 × 185 mm^2 ต่อเฟส สายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าควรใช้ขนาดเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

สายเฟสใช้ขนาด 3 x 185 = 555 mm^2 ต่อเฟส

จากตารางที่ 4-1 (วสท.2564) สายประธานขนาดเกิน 500 mm^2

ใช้สายต่อหลักดินขนาด 95 mm^2

5. บริภัณฑ์ไฟฟ้าหนึ่งมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 63 AT จงหาขนาดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

<u>วิธีทำ</u>

ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน 63 AT

จากตารางที่ 4-2 (วสท.2564) พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสไม่เกิน 70 AT

ใช้สายต่อหลักดินขนาด 6 mm^2

6. มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 เฟส 400 V 223 A จงหาขนาดของสายดิน

<u>วิธีทำ</u>

ขนาดสายดินตามพิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลังของมอเตอร์

ร้อยละ 100 ของพิกัดกระแสมอเตอร์ คือ 223 A

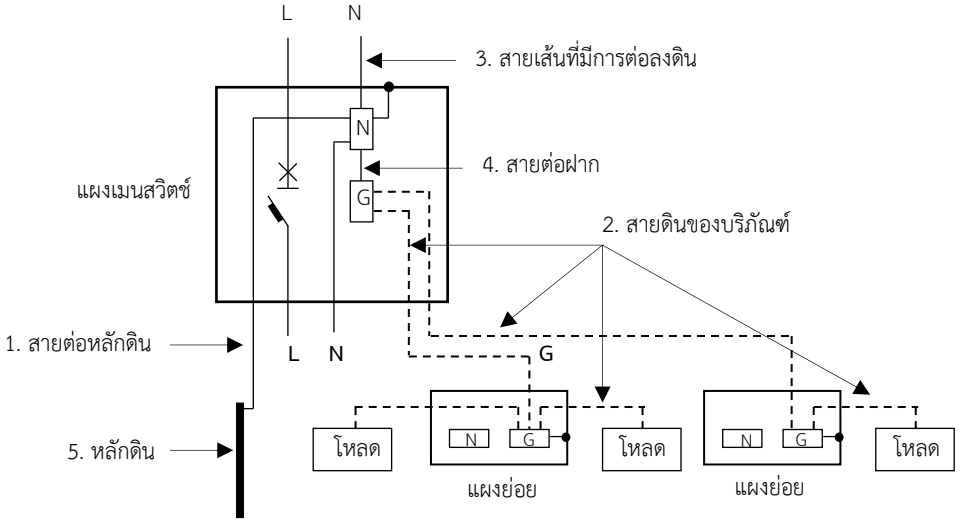
จากตาราง 4-2 (วสท.2564) พิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลังของมอเตอร์ไม่เกิน 400 A

ใช้ขนาดสายดินมอเตอร์ 25 mm^2

7. ส่วนประกอบของสายดินแบ่งได้กี่ส่วน แต่ละส่วนมีข้อกำหนดสำคัญอย่างไรบ้าง

<u>ตอบ</u> ส่วนประกอบของสายดินแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน แสดงดังรูปด้านล่าง

1. สายต่อหลักดิน
2. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
3. สายเส้นที่มีการต่อลงดิน
4. สายต่อฝาก
5. หลักดิน



รูปส่วนประกอบของระบบสายดิน

แต่ละส่วนมีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

1. สายต่อหลักดิน (grounding electrode conductor) ต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวนเท่านั้น จะเป็นตัวนำเดี่ยวหรือตีเกลียวก็ได้ เส้นเดียวตลอดความยาวโดยห้ามมีการตัดต่อระหว่างทาง ถ้าเป็นบัสบาร์ทองแดงอนุญาตให้มีการตัดต่อได้ ขนาดของสายต่อหลักดินต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4-1 (วสท. 2564) การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดินทำได้โดยการเชื่อมติดด้วยความร้อน หัวต่อแบบบีบอัด ประกับต่อสาย หรือสิ่งอื่นที่ระบุให้ใช้เพื่อการนี้ ห้ามต่อโดยการบัดกรี โดยวิธีที่เหมาะสมที่สุดคือ การเชื่อมติดด้วยความร้อนเช่นการใช้เบ้าหล่อ

2. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (equipment grounding conductor) ต้องเป็นสายทองแดงอาจหุ้มฉนวนหรือเปลือยก็ได้ สีของฉนวนต้องเป็นสีเขียวหรือสีเขียวแถมเหลือง หากสายแกนเดียวมีขนาดตั้งแต่ 16 mm^2 ขึ้นไปให้ทำเครื่องหมายแทสีฉนวนได้ ขนาดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4-2 (วสท.2564) สำหรับเต้าเสียบของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน 20 A สายดินอาจเล็กกว่าที่กำหมดไว้ในตารางที่ 4-2 (วสท.2564) ก็ได้ แต่ไม่เล็กกว่าขนาดสายของวงจร กรณีเดินสายเส้นไฟควบแล้วเดินแยกช่องเดินสาย สายดินต้องควบไปตามช่องเดินนั้นด้วย โดยห้ามมิให้ลดขนาดตามขนาดสายเส้นไฟ หรือกรณีมีหลายวงจรเดินร่วมในช่องเดินสายเดียวกันสามารถใช้สายดินร่วมกันได้โดยคิดจากเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวที่ใหญ่ที่สุด

3. สายเส้นที่มีการต่อลงดิน (grounded conductor) ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย สายเส้นที่มีการต่อลงดินคือสายนิวทรัล ขนาดสายจะเท่ากับสายเส้นไฟเสมอ ส่วนในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย สายเส้นที่มีการต่อลงดินคือสายนิวทรัลเช่นกัน มีข้อพิจารณา 2 ประการดังนี้

1) ถ้าสายเส้นที่มีการต่อลงดินใช้เป็นสายดินอย่างเดียว ไม่ได้ใช้เป็นสายของวงจร (สายนิวทรัล) ให้คิดขนาดสายตามตารางที่ 4-1 (วสท.2564) แต่หากสายเมนเส้นไฟของแต่ละเฟสรวมกันมากกว่า 500 mm^2 สาย

เส้นที่มีการต่อลงดินนี้ต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 12.5 % ของขนาดสายเมน และสายเส้นนี้จะต้องเดินจากด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไปยังตู้เมนสวิตช์ด้วยไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตาม

2) ถ้าสายเส้นที่มีการต่อลงดินนี้ใช้เป็นสายวงจรด้วย (สายนิวทรัล) ให้คิดขนาดสายจากข้อกำหนดของสายนิวทรัล คือ ขนาดสายนิวทรัลจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะนำกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดได้ และต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า โดยมีข้อพิจารณาดังนี้

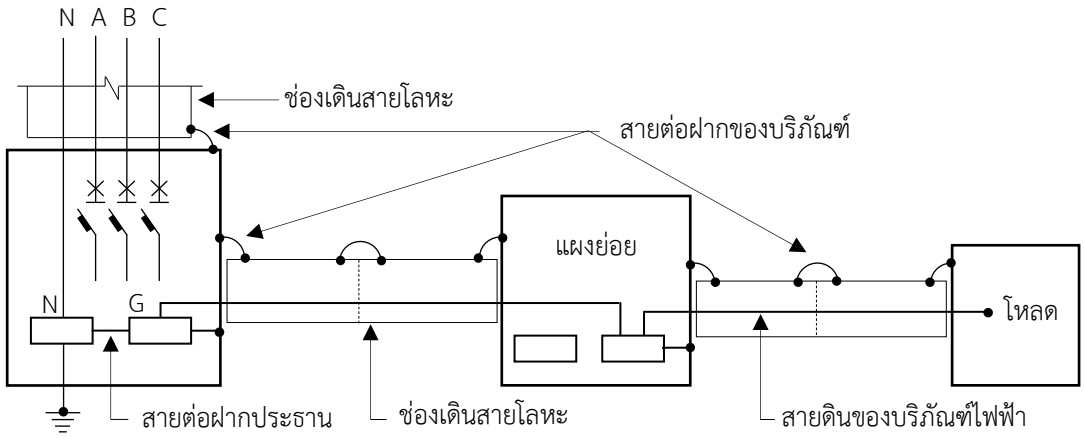
ก) กระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดไม่เกิน 200 A สายนิวทรัลจะมีขนาดเท่ากับสายเฟส

ข) กระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดเกิน 200 A สายนิวทรัลจะมีขนาดเท่ากับ 200 A บวกอีก 70 % ของกระแสส่วนที่เหลือ

ค) ถ้าหากโหลดไม่สมดุลเป็นโหลดประเภทหลอดดีสชาร์จเช่นหลอดฟลูออเรสเซนต์ อุปกรณ์ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นที่ทำให้เกิดกระแสฮาโมนิกส์ สายนิวทรัลก็จะมีขนาดเท่ากับสายเฟสเช่นเดิม

<u>กระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุด</u> หมายถึงกระแสของโหลด 1 เฟสที่ต่ออยู่ในวงจร 3 เฟส แล้วเลือกเฟสที่มากที่สุด

4. สายต่อฝาก (bonding jumper) หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างส่วนที่เป็นโลหะที่ต้องการต่อถึงกันทางไฟฟ้า กล่าวคือสายตัวนำสำหรับต่อถึงกันทางไฟฟ้าระหว่างโลหะกับโลหะหรือโลหะกับตัวนำต่อลงดิน ซึ่งในสภาพปกติจะไม่ใช้เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า แต่เมื่อเกิดสภาพไม่ปกติมีกระแสไหลผ่านต้องให้กระแสไหลผ่านได้สะดวกเพื่อความปลอดภัยและให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานได้อย่างถูกต้อง การต่อฝากเป็นการต่อเพื่อให้มั่นใจว่าระบบสายดินมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี สายต่อฝากนี้จะต้องสามารถรับกระแสลัดวงจรที่อาจเกิดขึ้นได้และไม่เล็กกว่าสายต่อหลักดิน ดังแสดงดังรูปด้านล่าง สามารถแยกได้ 2 ระบบ คือสายต่อฝากประธาน และสายต่อฝากของบริภัณฑ์



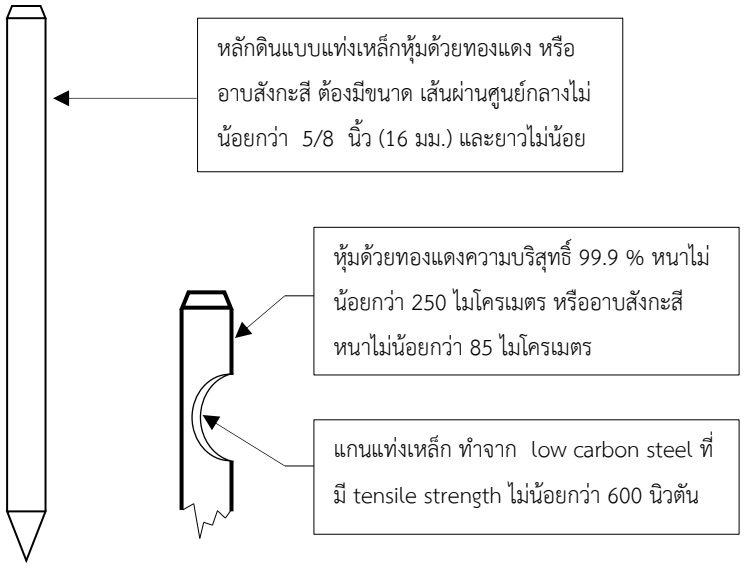
รูปตำแหน่งสายต่อฝาก (bonding jumper)

1) สายต่อฝากประธาน (bonding jumper, main) หมายถึง สายต่อฝากที่ต่อระหว่างตัวนำที่มีการต่อลงดินกับตัวนำต่อลงดิน (สายดิน) ที่ตำแหน่งด้านไฟเข้าของบริภัณฑ์ประธาน กล่าวคือสายตัวนำทองแดงหรือบัสบาร์ต่อโครงโลหะตู้เมนสวิตช์กับตัวนำที่ต่อลงดินที่ตำแหน่งด้านไฟเข้า เฉพาะที่แผงเมนสวิตช์เท่านั้น ตัวนำที่ต่อลงดินอาจเป็นบัสบาร์กราวด์หรือบัสบาร์นิวทรัลก็ได้ ซึ่งตู้เมนสวิตช์โดยทั่วไปแล้วบัสบาร์กราวด์จะยึดติดกับโครงโลหะของตู้เมนสวิตช์อยู่แล้ว ในทางปฏิบัติเพียงต่อฝากระหว่างบัสบาร์กราวด์กับบัสบาร์นิวทรัลเท่านั้น สำหรับขนาดสายต่อฝากประธานนี้ ให้คิดตามตารางที่ 4-1 (วสท.2564) แต่ถ้าสายเส้นไฟต่อเฟสรวมเกิน 500 mm^2 (สายควบ) ขนาดสายต่อฝากให้คิดไม่ต่ำกว่า 12.5 % ของขนาดสายเส้นไฟรวมต่อเฟสนั้น

2) สายต่อฝากของบริภัณฑ์ (bonding jumper, equipment) หมายถึง สายต่อฝากระหว่างสายดินของบริภัณฑ์ตั้งแต่สองส่วนขึ้นไป กล่าวคือสายตัวนำทองแดงที่ต่อฝากโครงโลหะทุกจุดเข้าด้วยกันแล้วต่อลงดิน ตั้งแต่เมนสวิตช์ไปถึงโหลด เช่นช่องเดินสายโลหะ รางเคเบิล เครื่องห่อหุ้ม โครงเครื่องประกอบติดตั้ง และส่วนที่เป็นโลหะอื่นๆ ต้องต่อถึงกันทางไฟฟ้าและสามารถทนกระแสลัดวงจรได้ สำหรับขนาดสายต่อฝากลงดินนี้ ให้คิดตามรางที่ 4-2 (วสท.2564) ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

5. หลักดิน (ground rot) หลักดินมีหลายแบบมีจุดประสงค์หลักเพื่อถ่ายทอดกระแสรั่วไหลหรือกระแสที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตตามโครงโลหะลงสู่ดินให้มีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ หลักดินแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือหลักดินที่มีอยู่แล้วทำขึ้นเพื่อจุดประสงค์อื่นซึ่งไม่ใช่การต่อลงดิน เช่น ท่อโลหะใต้ดิน โครงสร้างโลหะของอาคาร เสาเข็ม เป็นต้น กลุ่มที่สองคือหลักดินที่ทำขึ้นสำหรับงานระบบต่อลงดินโดยเฉพาะ เช่น หลักดินแบบแท่ง แบบรัศมี แบบวงแหวน แบบหุ้มด้วยคอนกรีต และแบบกริด เป็นต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อกำหนดหลักดินตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย มีดังนี้

1) หลักดินแบบแท่ง (ground rot) เป็นหลักดินที่เราพบกันทั่วไปมีจำหน่ายในท้องตลาดและนิยมใช้กันมากที่สุด ราคาถูกและติดตั้งง่าย ดังแสดงดังรูปด้านล่าง มีทั้งแบบแท่งเหล็กหุ้มด้วยทองแดง และแบบแท่งเหล็กอาบสังกะสี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว (16 มม.) และยาวไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร



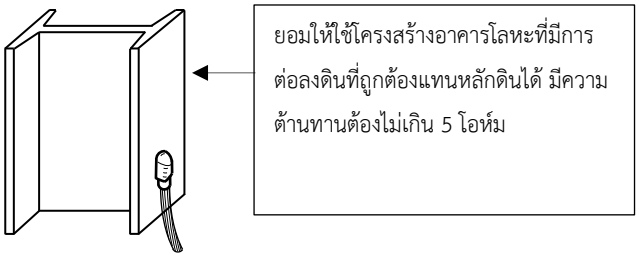
รูปหลักดินแบบแท่ง

2) หลักดินแบบแผ่นโลหะ (buried plate) เป็นแผ่นตัวนำชนิดป้องกันการผุกร่อนที่มีพื้นผิวสัมผัสกับดินไม่น้อยกว่า 0.18 ตร.ม. ฝังลึกไม่ต่ำกว่า 0.50 ม. ดังรูปด้านล่าง



รูปหลักดินแบบแผ่นโลหะ

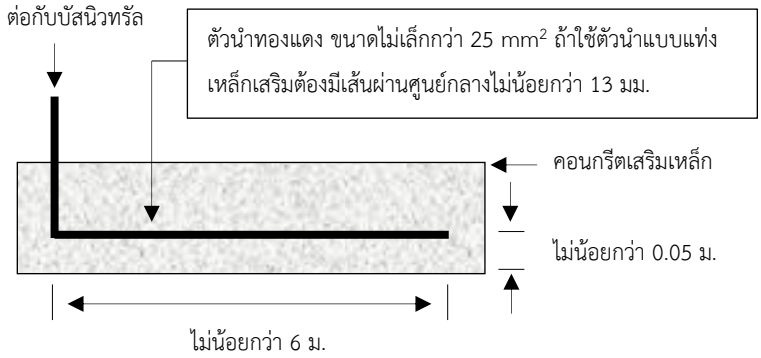
3) โครงสร้างโลหะของอาคาร และมีการต่อลงดินอย่างถูกต้อง ซึ่งวัดค่าความต้านนานระหว่างโครงสร้างโลหะกับดินต้องไม่เกิน 5 โอห์ม ดังรูปด้านล่าง



รูปที่โครงสร้างโลหะของอาคารแทนหลักดิน

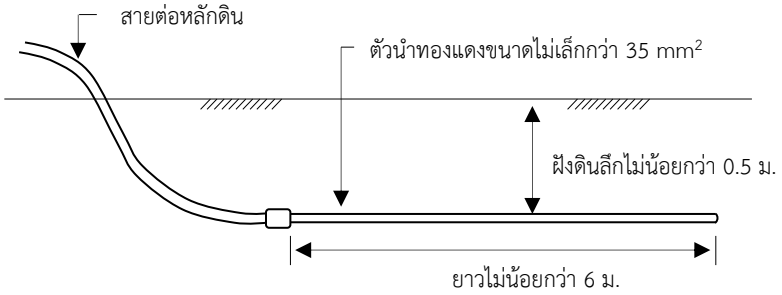
4) หลักดินชนิดอื่นๆ ที่ได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้า

ก) หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต (concrete encased electrode) เป็นตัวนำผังอยู่ในฐานรากคอนกรีตของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีเหล็กเสริมอยู่ด้วย ลึกไม่น้อยกว่า 50 มม. ใกล้ล่างของฐานซึ่งสัมผัสอย่างดีกับพื้นดิน ดังรูปด้านล่าง



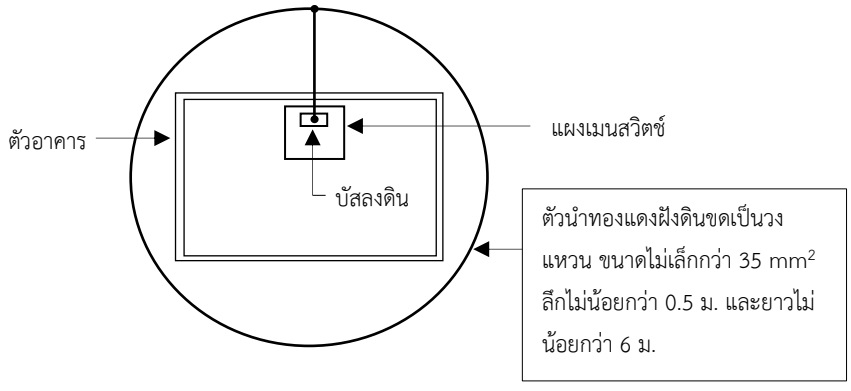
รูปหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

ข) หลักดินแบบรัศมี (radial electrode) เป็นตัวนำทองแดงฝังใต้ดินวางในแนวระนาบ ดังรูปด้านล่าง



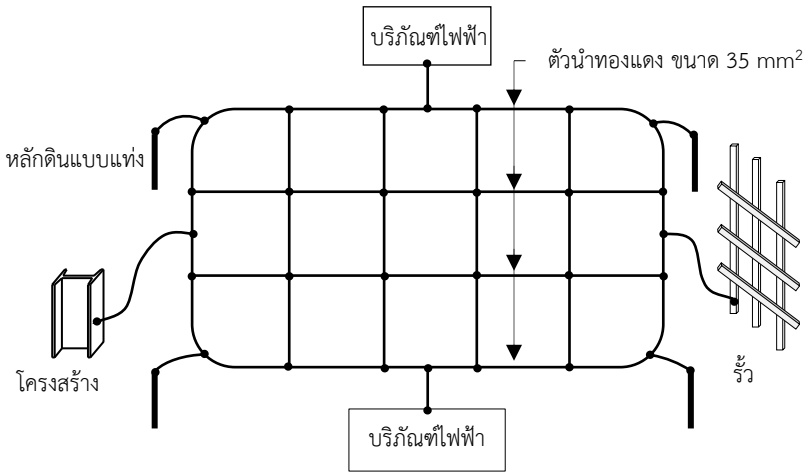
รูปหลักดินแบบรัศมี

ค) หลักดินแบบวงแหวน (ring electrode) มีลักษณะคล้ายกับหลักดินแบบรัศมี แต่มีความยาวมากกว่าและฝังเป็นวงแหวนอยู่โดยรอบอาคาร ดังรูปด้านล่าง



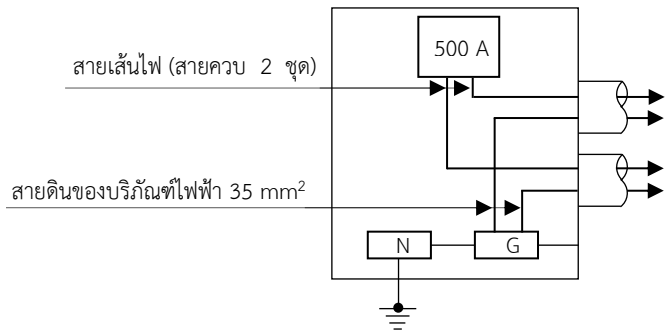
รูปหลักดินแบบวงแหวน

ง) หลักดินแบบกริด (grid electrode) ส่วนใหญ่ใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อย ประกอบด้วยตัวนำทองแดงจัดเป็นรูปตาข่ายสี่เหลี่ยมครอบคลุมพื้นที่ทั่วสถานีไฟฟ้าอาจเลยรั้วออกไป โดยฝังใต้ดินลึกประมาณ 0.15 ม.ช่วงห่างระหว่างตัวนำประมาณ 3.0 - 3.7 ม. จุดตัดของตัวนำทุกจุดจะต้องเชื่อมต่อด้วยกัน แล้วต่อเข้ากับบริภัณฑ์ไฟฟ้า รวมถึงรั้วและโครงสร้างโลหะในบริเวณของสถานีไฟฟ้าย่อย และอาจมีการหลักดินแบบแท่งเสริมทุกมุมอีกด้วย ดังรูปด้านล่าง นอกจากนั้นต้องใช้หินกรวดโรยทั่วบริเวณ เพื่อลดอันตรายจากแรงดันช่วงก้าว (Step Voltage) ของผู้ปฏิบัติงานในสถานีไฟฟ้าย่อย



รูปหลักดินแบบกริดใช้สถานีไฟฟ้าย่อย

8. แผงเมนสวิตช์มีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 500 A จ่ายไฟโดยใช้สายไฟฟ้าควบ 2 ชุด เดินในท่อร้อยสายท่อละหนึ่งชุด จงหาจำนวนและขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า



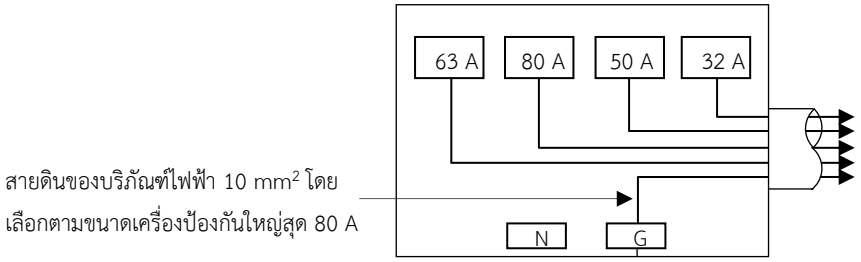
<u>วิธีทำ</u>

วงจรประกอบด้วยสายควบ 2 ชุด เดินในท่อร้อยสายท่อละ 1 ชุด

ดังนั้นจะต้องเดินสายดิน 2 เส้น ในแต่ละท่อ โดยสายดินแต่ละเส้นเลือกตามขนาดเครื่องป้องกัน

จากตาราง 4-2 (วสท. 2564) กรณีเครื่องป้องกันไม่เกิน 500 A ใช้ขนาดสายดิน 35 mm^2

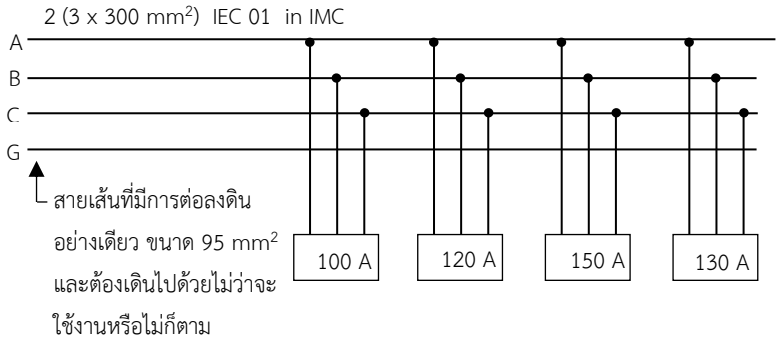
9. แผงไฟฟ้าย่อยจ่ายโหลด 4 วงจร ดังในรูปด้านล่างนี้ จงหาจำนวนและขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า โดยที่สายวงจรเดินสายไฟฟ้าร่วมกันในท่อสายเดียวกัน



<u>วิธีทำ</u>

ขนาดสายดินที่ใช้ร่วมกันจะต้องเลือกตามเครื่องป้องกันที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ 80 A
จากตารางที่ 4-2 (วสท. 2564) กรณีเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน 100 A
ใช้สายดิน 10 mm^2

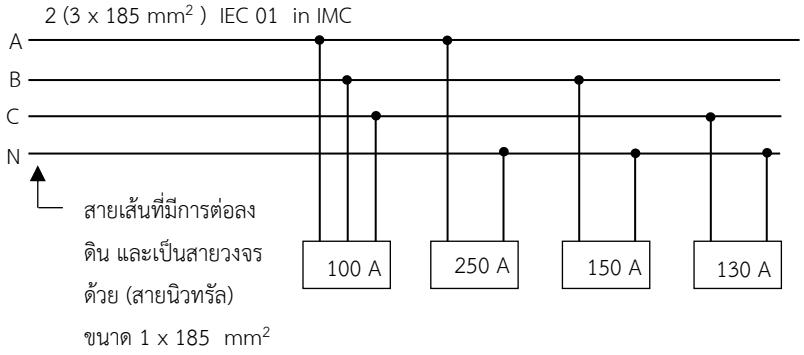
10. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ใช้สายควบ 2 ชุด ขนาด 300 mm^2 เดินร้อยท่อเกาะผนังดังในรูปด้านล่างนี้ จงหาขนาดสายเส้นที่มีการต่อลงดินที่ใช้เป็นสายดินอย่างเดียว ไม่ได้ใช้เป็นสายของวงจร



<u>วิธีทำ</u>

ขนาดสายเมนเส้นไฟต่อเฟสรวมกันเท่ากับ 2 x 300 = 600 mm^2
ขนาดสายเส้นที่มีการต่อลงดินต้องไม่น้อยกว่า 0.125 x 600 = 75 mm^2
แต่เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4-1 (วสท. 2564) แล้ว สายประธานขนาดเกิน 500 mm^2
ใช้สายต่อหลักดินขนาด 95 mm^2 ซึ่งมากกว่า 75 mm^2
ดังนั้นเลือกสาย IEC 01 ขนาด 95 mm^2 โดยต้องเดินไปด้วยไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตาม

11. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ใช้สายควบ 2 ชุด ขนาด 185 mm^2 เดินร้อยท่อเกาะผนังดังในรูปด้านล่างนี้ จงหาขนาดสายเส้นที่มีการต่อลงดินนี้ใช้เป็นสายของวงจรด้วย (สายนิวทรัล)



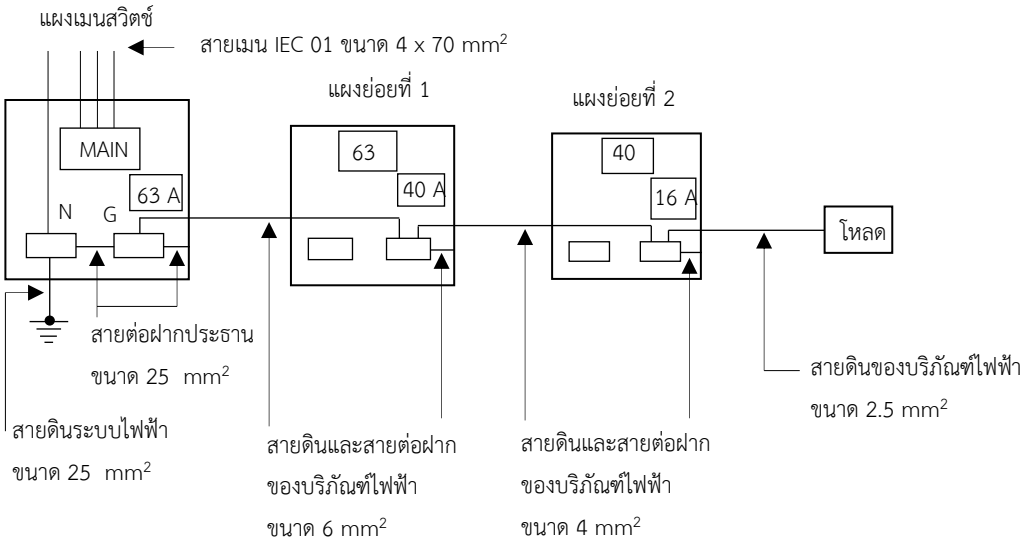
<u>วิธีทำ</u>

กระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดเฟส A เท่ากับ 250 A

ขนาดกระแสของสายนิวทรัลจะเท่ากับ 200 + (0.7 x 50) = 235 A

เลือกสาย IEC 01 ขนาด 1 x 185 mm^2 (258 A)

12. โรงงานแห่งหนึ่งใช้ระบบ 3 เฟส 4 สาย มีโหลดรวม 80 kVA ที่แผงเมนสวิตช์จ่ายไฟให้กับแผงย่อย จนถึงโหลด ดังในรูปด้านล่างนี้ กำหนดใช้สายชนิด IEC 01 ทั้งหมด โดยสายเมนเดินฉนวนลูกถ้วยอากาศ สายป้อนและวงจรย่อยเดินร้อยท่อเกาะผนัง อุณหภูมิใช้งานโดยรอบบนอากาศ 42 °C จงหาขนาดของสายเมน ขนาดของสายดิน และขนาดสายต่อฝาก



<u>วิธีทำ</u> **หาขนาดสายเมนจากโหลด 5 ขั้นตอน**

ขั้นตอนที่ 1 หากระแสโหลด

$$I_L = \frac{80 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 115 \text{ A}$$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

$I_n \geq 115 \times 1.25 \geq 144$ A ; เลือก CB = 160 AT

ขั้นตอนที่ 3 เลือกชนิดและกลุ่มการติดตั้ง

สายเมน IEC 01 ฉนวน PVC กลุ่มที่ 4 เลือกแนวตั้ง (ตารางที่ 5-22) 3 ตัวนำกระแส

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดพิกัดกระแสสายไฟฟ้า (I_t)

$$I_t \geq \frac{160}{0.91 \times 1.0} \geq 176 \text{ A}$$

เมื่อ Ca = 0.91 (ตารางที่ 5-43) เนื่องจากอุณหภูมิ 42 °C

Cg = 1.00 (ตารางที่ 5-8) ไม่คิดเนื่องจากไม่เกิน 1 กลุ่มวงจร

ขั้นตอนที่ 5 เลือกขนาดสายไฟฟ้า

จาก $I_t \geq 176$ A (ตารางที่ 5-22) ได้สาย IEC 01 ขนาด 4 x 70 mm^2 (221 A)

หาขนาดของสายดิน และขนาดสายต่อฝาก

สายดินของระบบไฟฟ้า จากตารางที่ 4-1 (วสท. 2564) สายเมนใช้ขนาด 70 mm^2 ขนาดตัวนำประธานเกิน 50 mm^2 แต่ไม่เกิน 95 mm^2 ใช้สายต่อหลักดินขนาด 25 mm^2 ขนาดสายต่อฝากประธานขนาด 25 mm^2 เช่นกัน

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า จากตารางที่ 4-2 (วสท. 2564) ใช้ขนาดสายดิน ดังนี้

แผงเมนสวิตช์ เครื่องป้องกัน 63 A ขนาดสายดิน 6 mm^2

แผงจ่ายไฟย่อย 1 เครื่องป้องกัน 40 A ขนาดสายดิน 4 mm^2

แผงจ่ายไฟย่อย 2 เครื่องป้องกัน 16 A ขนาดสายดิน 2.5 mm^2

สำหรับขนาดสายต่อฝากลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่แผงจ่ายไฟใช้เท่ากับขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่จ่ายมายังแผงจ่ายไฟนั้นด้วย

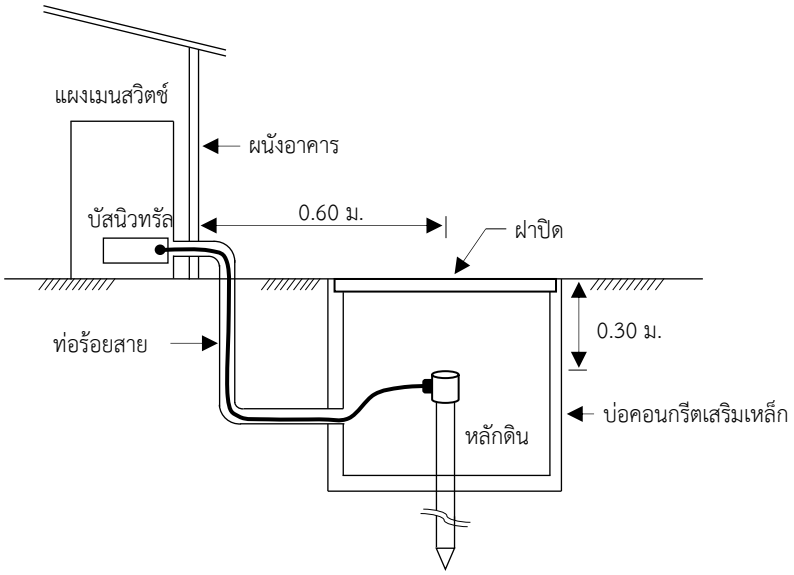
13. วิธีการต่อลงดินสำหรับอาคารชุด มีข้อกำหนดเพิ่มเติมจากวิธีการต่อลงดินทั่วไปอย่างไร

ตอบ การต่อลงดินสำหรับอาคารชุด นอกจากต้องมีการต่อลงดินตามข้อกำหนดข้างต้นแล้วยังมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

1) การต่อฝากสายดินเข้ากับสายนิวทรัล ต้องต่อฝากที่แผงเมนสวิตช์แรงต่ำ (MDB) ของอาคารชุดอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษเท่านั้น ห้ามต่อฝากสายดินเข้ากับสายนิวทรัลที่จุดอื่นอีก

2) ห้องชุดทุกห้อง ต้องมีระบบสายดินไว้สำหรับอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดิน สำหรับเต้ารับก็ต้องเป็นชนิดมีสายดินและมีการต่อลงดิน

3) สายดินและหลักดินต้องเชื่อมติดกันด้วยความร้อน (exothermic welding) เท่านั้น ตำแหน่งหลักดินต้องอยู่ห่างจากผนัง กำแพง หรือฐานรากอาคารไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร ปลายบนของหลักดินต้องต่ำกว่าระดับผิวดินไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร และต้องทำจุดทดสอบสำหรับวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินด้วย จุดทดสอบนี้ต้องเข้าถึงได้โดยสะดวก ดังรูปด้านล่าง

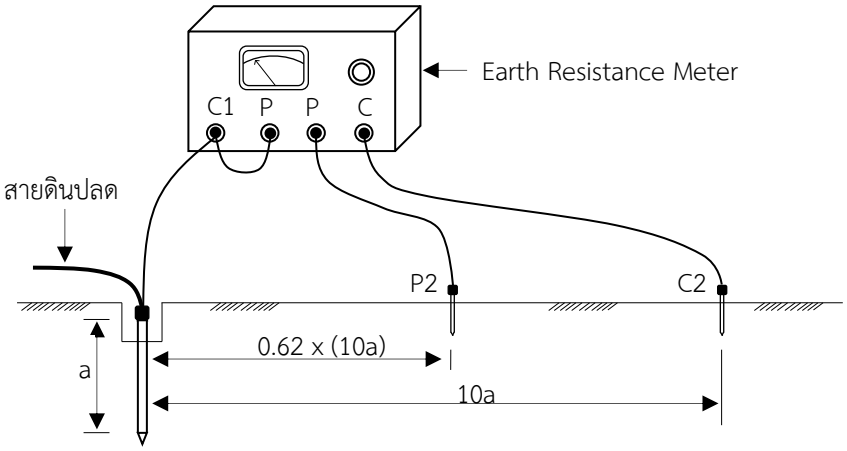


รูปจุดทดสอบหลักดินสำหรับอาคารชุด

14. จงบอกวิธีวัดความต้านทานของหลักดินแบบ 3 จุด (The Three–point or Fall of Potential)

ตอบ วิธีวัดดังแสดงรูปด้านล่าง โดยนำสายไฟต่อ C1 และ P1 ร่วมกันแล้วนำไปต่อกับหลักดินที่ต้องการทดสอบ (Ground Electrode Under Test) ปักแท่งหมุดตัวนำ C2 และ P2 ให้อยู่ในแนวดิ่งและอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับแท่งหลักดินที่จะทดสอบ โดยระยะห่างที่เหมาะสมต่ำสุดจากแท่งหลักดินทดสอบถึงแท่งหมุดตัวนำ C2 ประมาณ 10 เท่าของความยาวของแท่งหลักดิน สำหรับแท่งหมุดตัวนำ P2 จะปักห่างจากแท่งหลักดินทดสอบไปประมาณ 62 % ของระยะจากแท่งหลักดินทดสอบถึงแท่งหมุดตัวนำ C2 ซึ่งระยะของแท่งหมุดตัวนำ P2 นี้เป็นระยะที่ไม่มีการรบกวนของกระแสจากขั้ว C1 และ C2 ค่าความต้านทานของแท่งหลักดินและดินที่ระยะดังกล่าวจะมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง สามารถทดสอบได้โดยเลื่อนแท่งหมุดตัวนำ P2 ไปมา 50-70 % ของระยะจากแท่งหลักดินทดสอบถึงแท่งหมุดตัวนำ C2 ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

ค่าที่อ่านได้เป็นค่าความต้านทานของหลักดินกับดินที่ยอบรับได้ มีหน่วยเป็น โอห์ม ทั้งนี้ถ้าดินมีลักษณะแบ่งเป็นชั้น ๆ จะต้องทำการวัดซ้ำแล้วเลือกใช้ค่าที่มากกว่า *<u>หมายเหตุ</u> ต้องปลดขั้วสายดินออกระบบก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีกระแสรั่วมารบกวนในการวัด*



รูปการวัดค่าความต้านทานของหลักดินแบบ 3 จุด

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 6 การเดินสายและอุปกรณ์ประกอบ

1. ช่องเดินสายและการเดินสายควบหมายถึงอะไร

ตอบ ช่องเดินสาย หมายถึงช่องปิดที่ออกแบบเฉพาะสำหรับการเดินสายไฟฟ้า เช่น ท่อร้อยสายไฟฟ้า ราง เดินสาย เป็นต้น สำหรับรางเคเบิลและบัสเวย์ไม่ถือเป็นช่องเดินสาย

การเดินสายควบ หมายถึงการใช้สายไฟฟ้าตั้งแต่สองเส้นขึ้นไป โดยสายทั้งหมดมีการต่อที่ปลายสายทั้งสองข้างเข้าด้วยกัน โดยมีจุดประสงค์หลัก คือต้องการเพิ่มขนาดกระแสของสายไฟฟ้า โดยสายไฟฟ้าที่เดินควบต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 50 mm^2 เป็นสายชนิดเดียวกัน ขนาดเท่ากัน มีความยาวเท่ากัน และใช้วิธีต่อสายเหมือนกัน

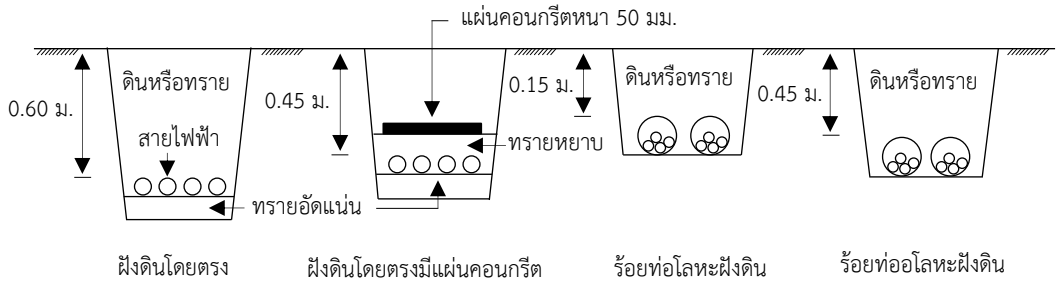
2. การติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดินระบบแรงต่ำและแรงสูง มีข้อกำหนดสำคัญอย่างไรบ้าง

ตอบ การติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดินระบบแรงต่ำ มีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

1) สายเคเบิลฝังดินโดยตรง ร้อยอยู่ในท่อร้อยสายหรือเครื่องห่อหุ้มสายไฟฟ้าประเภทอื่นที่ได้รับการรับรองแล้ว ความลึกในการติดตั้งต้องเป็นไปตามตารางด้านล่าง แต่ถ้าเป็นบริเวณที่มีรถยนต์วิ่งผ่าน ความลึกต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร สำหรับกรณีการติดตั้งที่มีแผ่นคอนกรีตวางอยู่เหนือสายหรือท่อ ต้องเป็นแผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม. ดังรูปด้านล่าง

ตารางความลึกในการติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ

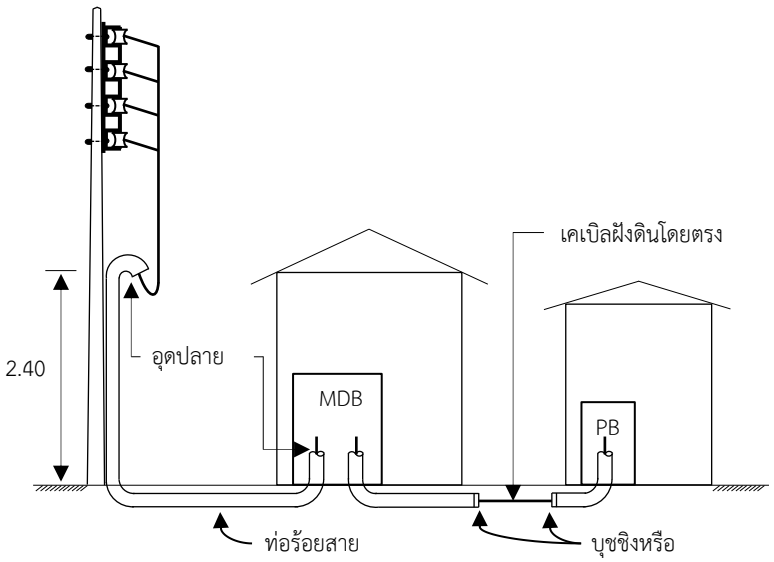
วิธีการเดินสาย	ความลึกน้อยสุด (เมตร)		
	มีแผ่นคอนกรีตกั้น	ไม่มีแผ่นคอนกรีตกั้น	ใต้พื้นคอนกรีต
สายเคเบิลฝังดินโดยตรง	0.45	0.60	0.45
ท่อโลหะหนาและหนาปานกลาง	0.15	0.15	0.10
ท่ออโลหะซึ่งได้รับการรับรองให้ฝังดินโดยตรงได้โดยไม่ต้องมี คอนกรีตหุ้ม เช่น ท่อ HDPE, RTRC และ ท่อ PVC	0.30	0.45	0.10
ท่อร้อยสายอื่น ๆ ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ เช่น ท่อใยหิน หุ้มคอนกรีตเสริมเหล็ก	0.30	0.45	0.10



รูประยะความลึกในการติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดิน

2) สายเคเบิลใต้ดินติดตั้งใต้อาคาร ต้องติดตั้งอยู่ในท่อร้อยสายและท่อร้อยสายต้อง ยาวเลยผนังด้านนอกของอาคารออกไป สำหรับสายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง ส่วนที่โผล่ขึ้นจากดินต้องมีการป้องกันด้วยเครื่องห่อหุ้ม หรือท่อร้อยสายสูงจากระดับพื้นดินไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร ดังรูปด้านล่าง และเครื่องห่อหุ้มหรือท่อร้อยสายต้องฝังจมลงในดินตามตารางด้านบน

3) ท่อร้อยสายซึ่งอาจมมีความชื้นสามารถเข้าไปยังส่วนที่มีไฟฟ้าได้ ต้องอุดที่ปลายใดปลายหนึ่ง หรือทั้งสองปลายของท่อร้อยสายตามความเหมาะสม การอุดทำได้หลายวิธี เช่น ซีลลิงคอมปาวด์ โฟม เป็นต้น ดังรูปด้านล่าง และห้ามใช้วัสดุที่มีคม หรือเป็นสิ่งที่ทำให้ผุกร่อนกลบสายหรือท่อร้อยสาย



รูปเครื่องห่อหุ้มสูงไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร พร้อมอุดปลายท่อและมีบุชชิงป้องกัน

4) ช่วงรอยต่อระหว่างปลายท่อกับสายเคเบิลผังดินโดยตรง ต้องมีบุชชิง (conduit sealing bushing) อนุญาตให้ใช้วัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติในทางป้องกันเทียบเท่ากับบุชแทนได้ และในกรณีที่มีการเดินสายเคเบิลใต้ดินเข้าไปในอาคาร ต้องมีการป้องกันฉนวนสาย ชำรุดเนื่องจากดินทรุด

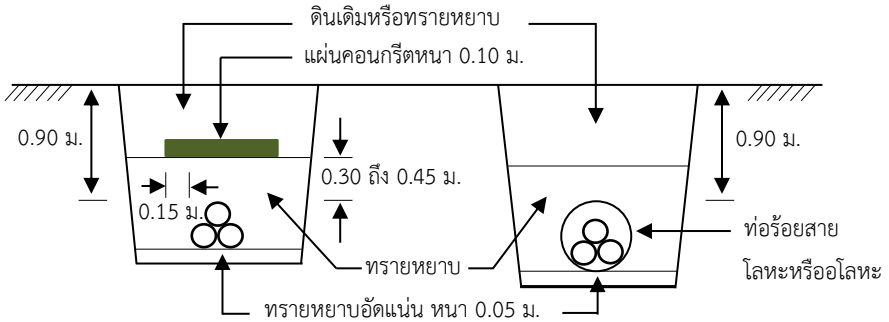
5) การต่อสายหรือต่อแยกให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแต่ละวิธีการเดินสาย สำหรับสายเคเบิลใต้ดินที่อยู่ในราง (trench) อนุญาตให้มีการต่อสายหรือต่อแยกสายในรางได้ แต่การต่อและต่อแยกต้องทำด้วยวิธีและใช้วัสดุที่ได้รับการรับรองแล้ว

6) ท่อโลหะที่ฝังดินต้องมีการป้องกันการผุกร่อน การป้องกันทำได้โดยการเคลือบด้วยวัสดุที่ทนต่อการผุกร่อน เช่น สังกะสีแคดเมียม อีนาเมล หรือหุ้มด้วยคอนกรีต สำหรับการติดตั้งบ่อพักสายหรือท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ให้พิจารณาระยะห่างระหว่าง บ่อพักสายหรือท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินกับสาธารณูปโภคต่าง ๆ ด้วย

การติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดินระบบแรงสูง มีข้อกำหนดทั่วไปเป็นไปตามข้อกำหนดในระบบแรงต่ำ และมีข้อเพิ่มเติมดังนี้

1) การติดตั้งใต้ดิน สายใต้ดินต้องฝังดินลึกไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร ในทุกกรณี

2) ถ้าเป็นสายฝังดินโดยตรงต้องมีแผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 0.10 เมตร ปิดทับอีกชั้นหนึ่งเหนือสายเคเบิลมีระยะห่างจากสายเคเบิลระหว่าง 0.30 ถึง 0.45 เมตร แผ่นคอนกรีตต้องกว้างพอที่จะปิดคลุมออกไปจากแนวสายทั้งสองข้าง อย่างน้อยข้างละ 0.15 เมตร ดังรูปที่ 6.24



รูปการเดินสายระบบแรงสูงใต้ดิน

3. การเดินสายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านวัตถุที่เป็นสารแม่เหล็ก มีวิธีการป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำได้อย่างไร

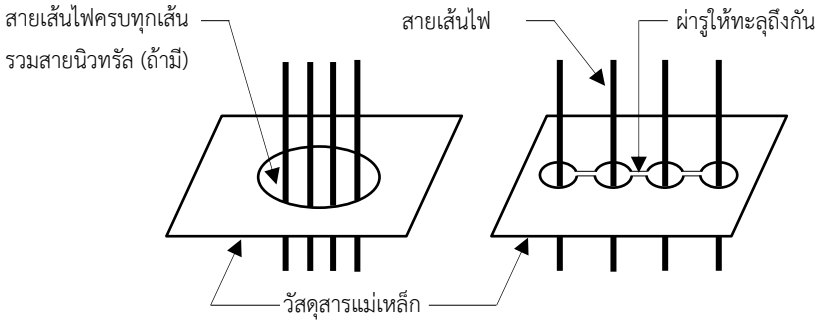
ตอบ วิธีการป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำทำได้หวายวิธี ดังนี้

1) รวมสายเส้นไฟทุกเส้นและสายนิวทรัล (ถ้ามี) รวมทั้งสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าไว้ในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายเดียวกัน ในการเดินสายควบและใช้ท่อร้อยสายหลายท่อ ในแต่ละท่อร้อยสายต้องมีครบทั้งสายเส้นไฟ สายนิวทรัลและสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2) เมื่อสายเดี่ยวของวงจรเดินผ่านโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก จะต้องจัดให้ผลจากการเหนี่ยวนำมีน้อยที่สุด โดยการตัดร่องให้ถึงกันระหว่างรูแต่ละรูที่ร้อยสายแต่ละเส้น หรือโดยการร้อยสายทุกเส้นของวงจรผ่านช่องเดียวกัน ดังรูปด้านล่าง

3) สายไฟแกนเดียวทุกเส้นของวงจรเดียวกัน รวมทั้งสายที่มีการต่อลงดินและสายดิน

ต้องติดตั้งในท่อร้อยสายเดียวกัน หากติดตั้งในรางเดินสาย (wireways) หรือรางเคเบิล (cable trays) ให้วางเป็นกลุ่มเดียวกัน



รูปการป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ

4. การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวน มีข้อกำหนดสำคัญอย่างไร

ตอบ การเดินสายเปิดหรือเดินลอย (Open Wiring) บนวัสดุฉนวน หมายถึงวิธีการเดินสายแบบเปิดโล่งโดยใช้ตุ้มหรือลูกถ้วยเพื่อการจับยึด มีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

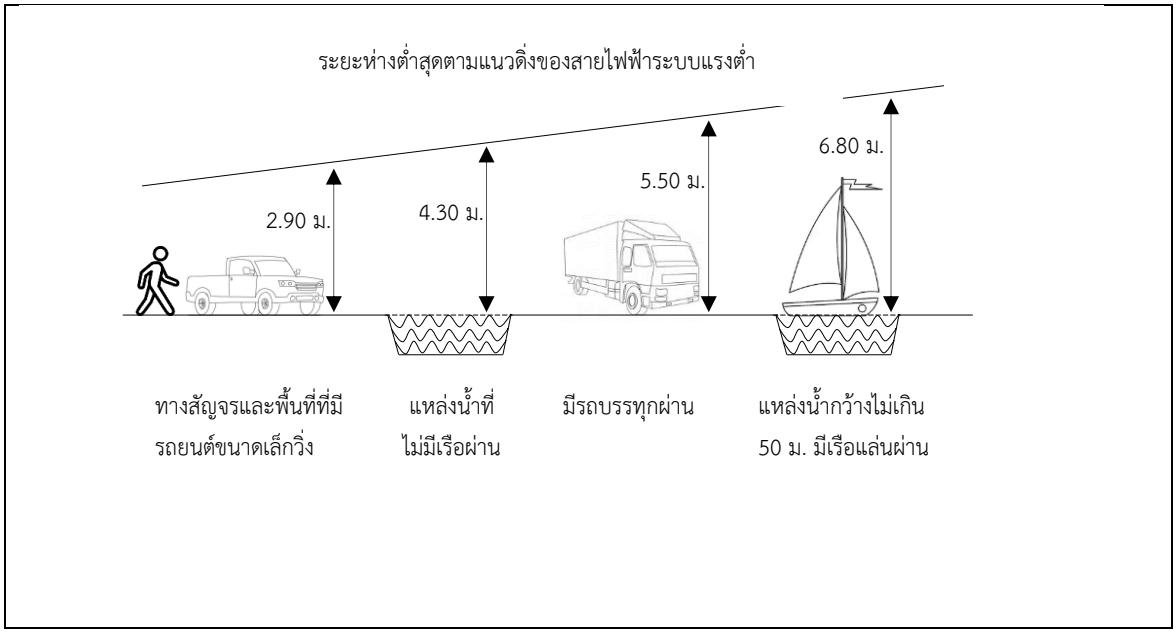
1) สายที่ใช้เดินลอย ต้องเป็นสายหุ้มฉนวนแกนเดียวและต้องไม่ถูกปิดบังด้วยโครงสร้างของอาคาร

2) การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนต้องเดินภายนอกอาคาร ส่วนในอาคารอนุญาตได้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม งานเกษตรกรรมและงานแสดงสินค้าเท่านั้น

3) ต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่เหมาะสม และสายต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตารางด้านล่าง สายที่ยึดเกาะไปกับผนังหรือกำแพงต้องสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร

ตารางระยะห่างต่ำสุดตามแนวดิ่งของสายไฟฟ้าเหนือพื้น

สิ่งอยู่ใต้สายไฟฟ้า	ระยะห่าง	
	ระบบแรงต่ำ	ระบบแรงสูง
ทางสัญจรและพื้นที่สำหรับรถยนต์ขนาดเล็กผ่าน	2.90	4.60
ทางสัญจรและพื้นที่อื่นสำหรับรถยนต์หรือรถบรรทุกผ่าน	5.50	6.10
คลองหรือแหล่งน้ำที่ไม่มีเรือแล่นผ่าน	4.30	5.20
คลองหรือแหล่งน้ำที่กว้างไม่เกิน 50 เมตร มีเรือแล่นผ่าน (ปกติเรือสูง 4.90 ม.)	6.80	7.70



4) สายไฟฟ้าซึ่งติดตั้งบนตุ้มหรือลูกถ้วยจะต้องยึดกับฉนวนที่รองรับให้มั่นคง ในกรณีที่ใช้ลวดผูกสาย (tie wire) ให้ใช้ชนิดที่มีฉนวนที่ทนแรงดันเทียบเท่าฉนวนของสายไฟฟ้านั้น ในกรณีที่อาจจะสัมผัสได้โดยพลั้งเผลอ

5) การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายในอาคาร ระยะห่างต้องเป็นไปตามที่กำหนดในตารางด้านล่าง

ตารางระยะห่างสำหรับการเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายในอาคาร

การติดตั้ง	ระยะสูงสุดระหว่างจุดจับยึดสาย (เมตร)	ระยะห่างต่ำสุดระหว่าง (เมตร)		ขนาดสายทองแดงใหญ่สุด (ตร.มม.)
		สายไฟฟ้า	สายไฟฟ้ากับสิ่งปลูกสร้าง	
บนตุ้ม	2.5	0.10	0.025	50
บนลูกถ้วย	5.0	0.15	0.05	ไม่กำหนด

6) การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายนอกอาคาร หากเดินสายบนตุ้มระยะห่างให้เป็นไปตามที่ตาราง 6.4 แต่ถ้าเดินผ่านในที่โล่งขนาดสายต้องไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม. และระยะระหว่างจุดจับยึดสายไม่เกิน 5.0 เมตร หากเดินสายบนลูกถ้วย ระยะห่างให้เป็นไปตามตารางด้านล่าง

ตารางระยะห่างสำหรับการเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายในอาคาร

การติดตั้ง	ระยะสูงสุดระหว่างจุดจับยึดสาย (เมตร)	ระยะห่างต่ำสุดระหว่าง (เมตร)		ขนาดสายทองแดงใหญ่สุด (ตร.มม.)
		สายไฟฟ้า	สายไฟฟ้ากับสิ่งปลูกสร้าง	
บนตุ้ม	2.5	0.10	0.025	50
บนลูกถ้วย	5.0	0.15	0.05	ไม่กำหนด

ตารางระยะห่างสำหรับการเดินสายเปิดบนลูกถ้วยภายนอกอาคาร

ระยะสูงสุดระหว่างจุดจับยึดสาย (เมตร)	ระยะห่างต่ำสุดระหว่าง (เมตร)		ขนาดสายทองแดงเล็กสุด (ตร.มม.)
	สายไฟฟ้า	สายไฟฟ้ากับสิ่งปลูกสร้าง	
ไม่เกิน 10	0.15	0.05	2.5
11-25	0.20	0.05	4
26-40	0.20	0.05	6

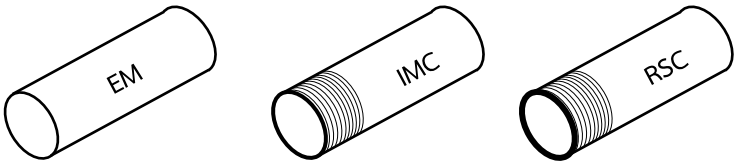
5. การเดินสายในท่อโลหะมีกี่ชนิด แต่ละชนิดมีข้อกำหนดสำคัญอย่างไร

ตอบ การเดินสายในท่อโลหะมี 3 ชนิด ได้แก่

1) ท่อโลหะบาง (electrical metal conduit, EMT) ทำด้วยเหล็กกล้าชนิดรีดร้อนและรีดเย็นหรือแผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี ตัวภายในเคลือบด้วยอีนาเมลทำให้ผิวท่อเรียบทั้งภายในและภายนอกท่อและมีความมันวาว ปลายท่อเรียบทั้งสองด้าน มาตรฐานกำหนดให้ใช้ตัวอักษรสีเขียวระบุชนิดและขนาดของท่อ ดังรูปด้านล่าง ก)

2) ท่อโลหะหนาปานกลาง (intermediate metal conduit, IMC) มีโครงสร้างคล้ายกับท่อโลหะบางแต่มีความหนากว่าปลายท่อทำเกลียวไว้ทั้งสองด้าน มาตรฐานกำหนดให้ใช้ตัวอักษรสีส้มหรือสีแดงระบุชนิดและขนาดของท่อ ดังรูปด้านล่าง ข)

3) ท่อโลหะหนา (rigid metal conduit, RMC) มีโครงสร้างคล้ายกับท่อหนาปานกลาง แต่ผิวจะด้านและหนากว่า ปลายท่อทำเกลียวไว้ทั้ง 2 ด้านเช่นกัน มาตรฐานกำหนดใช้ตัวอักษรสีดำระบุชนิดและขนาดของท่อ ดังรูปด้านล่าง ค)

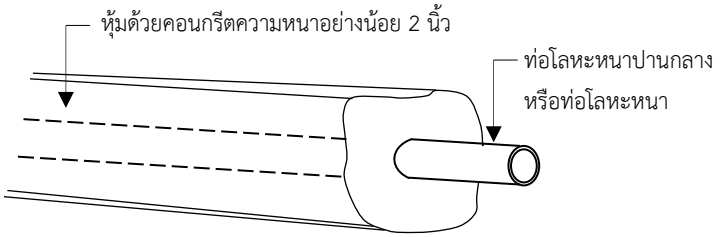


ก) ท่อ EMT ข) ท่อ IMC ค) ท่อ RSC

รูปท่อโลหะสำหรับร้อยสายไฟฟ้า

การเดินสายในท่อโลหะแต่ละชนิดมีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

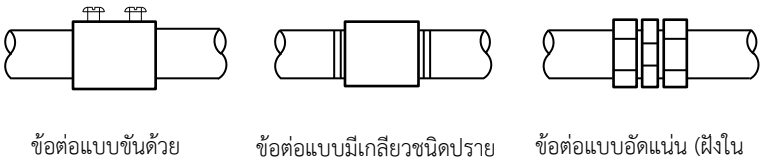
1) ในสถานที่เปียก ท่อโลหะและส่วนประกอบที่ใช้ยึดท่อโลหะ เช่นสลักเกลียว (bolt) สแตรป (strap) สกรู (screw) ฯลฯ ต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อน หรือหุ้มด้วยคอนกรีตความหนาอย่างน้อย 2 นิ้ว ดังรูปด้านล่าง



รูปการป้องกันท่อโลหะในบริเวณที่มีความชื้นแฉะมาก ๆ

2) ปลายท่อที่ถูกตัดออกต้องลบคม เพื่อป้องกันไม่ให้บาดฉนวนของสาย การทำเกลียวท่อต้องใช้เครื่องทำเกลียวชนิดปลายเรียว เกลียวชนิดนี้เมื่อหมุนข้อต่อเข้าไปจะแน่นขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะเป็นผลให้มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี

3) ข้อต่อ (coupling) และข้อต่อยึด (connector) ชนิดไม่มีเกลียวต้องต่อให้แน่น เมื่อฝังในอิฐก่อหรือคอนกรีตต้องใช้ชนิดฝังในคอนกรีต (concretetight) ดังรูปด้ายล่าง เมื่อติดตั้งในสถานที่เปียกต้องใช้ชนิดกันฝน (raintight)



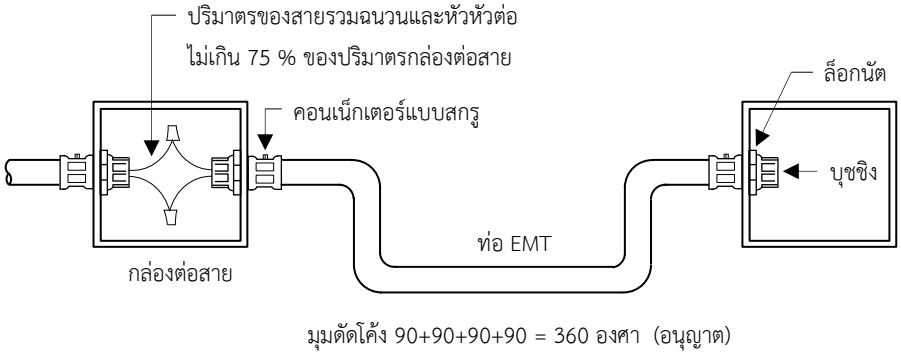
รูปข้อต่อ (coupling) แบบต่างๆ

4) การต่อสายให้ต่อได้เฉพาะในกล่องต่อสายหรือกล่องจุดต่อไฟฟ้าที่สามารถเปิดออกได้สะดวก ปริมาตรของสายและฉนวน รวมทั้งหัวต่อสายเมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 75 % ของปริมาตรภายในกล่องต่อสายหรือกล่องจุดต่อไฟฟ้า ดังรูปด้านล่าง

5) การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสายหรือเครื่องประกอบการเดินท่อต้องมีบุชชิง เพื่อป้องกันไม่ให้ฉนวนหุ้มสายชำรุด นอกเสียจากว่ากล่องต่อสายและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบเพื่อป้องกันการชำรุดของฉนวนไว้แล้ว

6) ท่อโลหะบางห้ามทำเกลียว ส่วนท่อโลหะหนาและท่อโลหะหนาปานกลาง ต้องทำเกลียวต่อ

7) มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา ดังรูปด้านล่าง เพราะอาจดึงสายเข้าหรือออกทำได้อยาก ส่งผลทำให้ฉนวนอาจชำรุดเสียหายได้ ตลอดจนการบำรุงรักษาก็จะทำได้ยากเช่นกัน



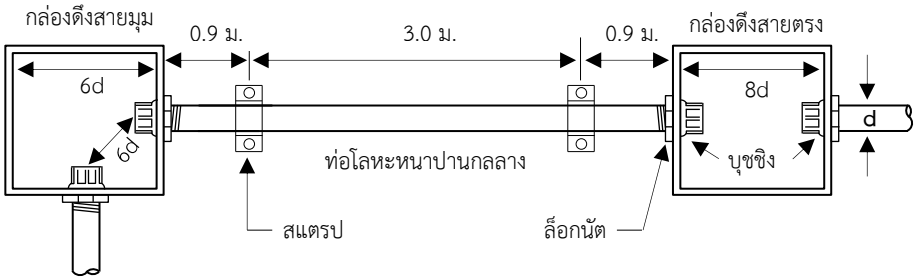
รูปปริมาตรของสายรวมฉนวนในกล่องต่อสายไม่เกิน 75 % และมุมดัดโค้งไม่เกิน 360 องศา

8) ห้ามใช้ท่อโลหะเป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน

9) ท่อร้อยสายต้องยึดกับที่ให้มั่นคงด้วยอุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสม โดยมีระยะห่างระหว่างจุดจับยึดไม่เกิน 3.0 เมตร และห่างจากกล่องต่อสาย หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่เกิน 0.9 เมตร ดังรูปด้านล่าง

10) ท่อที่ขนาดใหญ่กว่า 15 มม. รัศมีดัดโค้งด้านในของท่อต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ สำหรับท่อขนาด 15 มม. รัศมีดัดโค้งด้านในของท่อต้องไม่น้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ การดัดโค้งต้องไม่ทำให้ท่อชำรุด

11) กล่องดึงสาย (Pull Boxes) แบบดึงตรงจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กล่างท่อที่ใหญ่สุด และแบบดึงมุมจะต้องมีความยาวระหว่างท่อไปถึงผนังฝั่งตรงข้ามและระหว่างท่อถึงท่อไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กล่างท่อที่ใหญ่สุด ดังรูปด้านล่าง



รูประยะจับยึดและรัศมีมุมโค้งสายในกลรองดึงสาย

3) จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย ต้องมีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5-3 (วสท. 2564)

ตารางที่ 5-3 (วสท. 2564) พื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายในท่อร้อยสาย	1	2	3	4	มากกว่า 4
สายไฟทุกชนิด *ยกเว้น* สายชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	53	31	40	40	40
สายไฟชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55	30	40	38	35

6. การเดินสายในท่ออโลหะมีกี่ชนิด แต่ละชนิดมีข้อกำหนดสำคัญอย่างไร

ตอบ การเดินสายในท่ออโลหะมี 2 ชนิด ได้แก่ ท่ออโลหะแข็งและท่ออโลหะอ่อน มีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

1. การเดินสายในท่ออโลหะแข็ง (rigid nonmetallic conduit) ท่ออโลหะแข็งที่นิยมใช้งานอยู่ทั่วไป ได้แก่ท่อ PVC และท่อ PE หรือ HDPE ดังรูปด้านล่าง โดยท่อ PVC มีคุณสมบัติในการต้านเปลวไฟ แต่หากเกิดการลุกไหม้แล้วจะมีก๊าซที่เป็นพิษออกมาด้วยและไม่คงทนต่อแสงอัลตราไวโอเลต ทำให้กรอบเมื่อถูกแสงแดดนาน ๆ สำหรับท่อ PE เป็นท่อที่ไฟลุกลามได้แต่คงทนต่อแสงอัลตราไวโอเลตจึงเหมาะที่จะใช้ในภายนอกอาคาร การใช้งานภายในอาคารจึงต้องฝังอยู่ในคอนกรีตหรือฝังดิน



รูปท่ออโลหะแข็ง

มีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

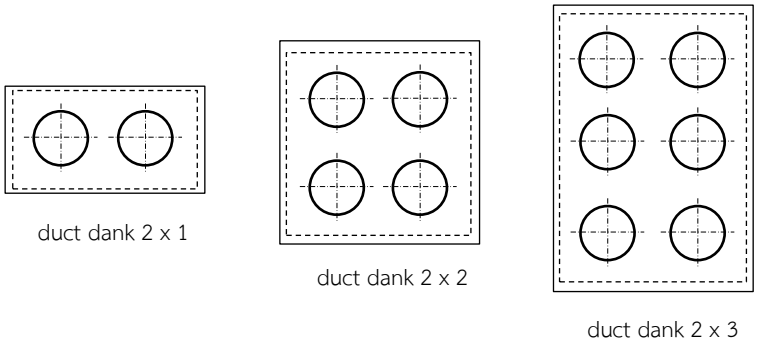
1) การใช้งานท่ออโลหะแข็ง

ก) เดินซ่อนในผนัง พื้น และเพดาน

ข) ในบริเวณที่ทำให้เกิดการผุกร่อนและเกี่ยวข้องกับสารเคมี ถ้าท่อและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบไว้สำหรับใช้งานในสภาพดังกล่าว

ค) ในที่เปียกหรือชื้น ซึ่งได้จัดให้มีการป้องกันน้ำเข้าไปในท่อ

ง) สามารถฝังใต้ดินได้ เพราะทนต่อความชื้นและการผุกร่อนได้ดี แต่เพื่อให้ท่ออโลหะมีความแข็งแรงควรหุ้มด้วยคอนกรีตหรือที่เรียกว่า ดัคแบงค์ (duct dank) ดังรูปด้านล่าง



รูปดัคแบงค์ (duct dank)

จ) ในที่เปิดโล่ง (exposed) ซึ่งไม่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ

ฉ) การติดตั้งใต้ดินควรดูข้อกำหนดในเรื่องการติดตั้งใต้ดินประกอบด้วย

2) ห้ามใช้ท่ออโลหะแข็ง ในกรณีดังต่อไปนี้

ก) ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

ข) ใช้เป็นเครื่องแขวนและจับยึดดวงโคม

ค) อุณหภูมิโดยรอบหรืออุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าอุณหภูมิของท่อที่ระบุไว้

ง) ในโรงมหรสพ นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

จ) ท่ออโลหะแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มิลลิเมตร

3) จำนวนสายไฟฟ้า ต้องพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5-3 (วสท. 2564)

4) การติดตั้ง มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา เมื่อเดินท่อเข้ากล่องหรือส่วนประกอบอื่น ๆ ต้องจัดให้มีบุชชิง หรือป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายชำรุดเช่นเดียวกับท่ออโลหะ

2. การเดินสายในท่ออโลหะอ่อน นิยมใช้งานอยู่ทั่วไปมี 2 ชนิดได้แก่ ท่อร้อยสายที่มีลักษณะเป็นลอน ดังรูปด้านล่าง ก) และท่ออโลหะอ่อนกันของเหลว ดังรูปด้านล่าง ข) แต่ละชนิดมีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้



ก) ท่ออโลหะอ่อนเป็นลอน ข) ท่ออโลหะอ่อนกันของเหลวไม่มี

รูปท่ออโลหะอ่อน

1) การเดินสายในท่ออโลหะอ่อน (Electrical Nonmetallic Tubing) ท่อร้อยสายที่มีลักษณะเป็นลอน (corrugated) สามารถดัดโค้งได้ด้วยมือโดยท่อร้อยสายและเครื่องประกอบการเดินท่อ ต้องทำด้วยวัสดุที่เหมาะสมสำหรับงานทางไฟฟ้าทนต่อความชื้น สารเคมี และมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (flame-retardant) มีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

ก) ในที่เปิดโล่ง (exposed) ซึ่งไม่ได้รับความเสียหายทางกายภาพและใช้กับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 3 ชั้นเหนือพื้นดิน

ข) ในที่ซ่อนเช่นผนัง พื้นหรือเพดาน ซึ่งกั้นด้วยแผ่นกั้นที่ทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 15นาที ยกเว้น อาคารที่ติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงไม่ต้องมีแผ่นกั้นทนไฟ

ค) ในบริเวณที่ไม่ทำให้ท่อผุกร่อน

ง) ฝังในคอนกรีต โดยใช้ท่อและเครื่องประกอบการเดินท่อที่เหมาะสม

ห้ามใช้ท่ออโลหะอ่อน ในกรณีต่อไปนี้

ก) ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

ข) ใช้เป็นเครื่องแขวนและจับยึดดวงโคม

ค) อุณหภูมิโดยรอบหรืออุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าอุณหภูมิของท่อที่ระบุไว้

ง) ฝังดินโดยตรง

จ) แรงดันที่ใช้งานเกิน 750 โวลต์

ฉ) ในโรงมหรสพ

ช) ห้ามใช้ท่ออโลหะอ่อนที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. หรือใหญ่กว่า 26 มม.

ซ) จำนวนสายไฟฟ้าในท่ออโลหะอ่อน ต้องพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5-3 (วสท. 2564)

ฌ) ต้องมีการจับยึดท่ออโลหะอ่อนให้แน่นทุกระยะไม่เกิน 1 เมตร

2) การเดินสายในท่ออโลหะอ่อนกันของเหลว (Liquidtight Flexible Nonmetallic Conduit) ท่ออโลหะอ่อนกันของเหลวเป็นท่อกลม ไม่มีตะเข็บ ทำด้วยวัสดุต้านทานเปลวเพลิง และต้องมีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

ก) ติดตังได้ทั้งแบบเปิดโล่งหรือเดินซ่อน

ข) ใช้ในสภาพการติดตั้งการใช้งาน และการบำรุงรักษาที่ต้องการความอ่อนตัวของท่อหรือป้องกันสายไฟฟ้าชำรุดจากไอ ของเหลว หรือของแข็ง

ห้ามใช้ท่ออโลหะอ่อนกันของเหลว ในกรณีดังต่อไปนี้

ก) สถานที่ซึ่งอาจได้รับความเสียหายทางกายภาพ

ข) ในที่ซึ่งผลรวมของอุณหภูมิซึ่งเกิดจากอุณหภูมิโดยรอบและอุณหภูมิของตัวนำเกินกว่าอุณหภูมิวัสดุของท่อ

ค) มีความยาวเกิน 2.0 เมตร

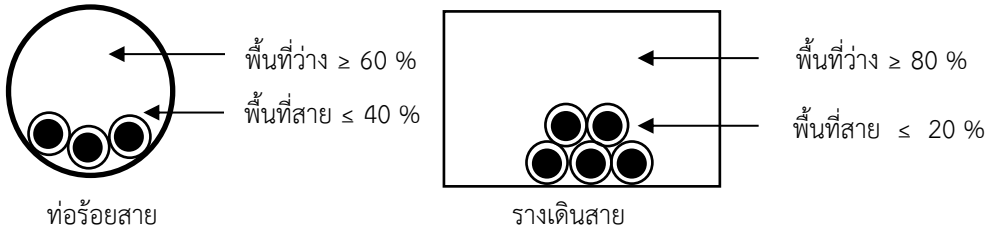
ง) ในระบบแรงสูง

ฉ) ห้ามใช้ท่ออโลหะอ่อนกันของเหลวที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. หรือใหญ่กว่า 100 มม.

ช) จำนวนสายไฟฟ้าในท่ออโลหะอ่อนกันของเหลว ต้องพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5-3 (วสท. 2564)

7. จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายและรางเดินสาย มีข้อกำหนดสำคัญไว้อย่างไร

ตอบ จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย ต้องมีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าทุกเส้นต้องไม่เกิน 40 % ของพื้นที่หน้าตัดภานในท่อร้อยสาย (เกิน 3 เส้น) สำหรับจำนวนสายไฟฟ้าในรางเดินสาย ต้องมีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าทุกเส้นต้องไม่เกิน 20 % ของพื้นที่หน้าตัดภานในรางเดินสาย ดังรูปด้านล่าง



รูปจำนวนสายไฟฟ้าคิดตามพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายและรางเดินสาย

8. วงจรสายป้อนใช้สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 120 mm^2 จำนวน 4 เส้นและสายขนาด 50 mm^2 จำนวน 1 เส้น เดินสายร้อยท่อโลหะหนาปานกลาง จงหาขนาดท่อ

วิธีทำ

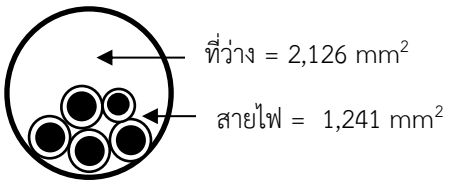
ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้ารวมฉนวนจากตารางที่ 6.8 (หนังสือประกอบการเรียน) เป็นดังนี้

สาย IEC 01 ขนาด 120 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (278 x 4 เส้น) = 1,112 mm^2

สาย IEC 01 ขนาด 50 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (129 x 1 เส้น) = 129 mm^2

รวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายทั้งหมดเท่ากับ 1,112 +129 = 1,241 mm^2

จากตารางที่ 5-3 (วสท. 2564) สายไฟฟ้าที่เดินในท่อโลหะ 5 เส้น ต้องมีพื้นที่หน้าตัดสายไฟฟ้ารวมฉนวนรวมกันไม่เกิน 40 % ของพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อ



เลือกใช้ท่อขนาด 65 มม. (2 1/2 นิ้ว)

9. วงจรย่อย 2 วงจร วงจรแรกใช้สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 ขนาด 35 mm^2 จำนวน 3 เส้น ขนาด 25 mm^2 จำนวน 1 เส้นและขนาด 10 mm^2 จำนวน 1 เส้น วงจรที่สอง ใช้สายชนิด NYY 1/C ขนาด 16 mm^2 จำนวน 4 เส้น เดินร่วมกันในท่อร้อยสายท่อโลหะหนา จงหาขนาดท่อ

วิธีทำ

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้ารวมฉนวนจากตารางที่ 6.8 (หนังสือประกอบการเรียน) เป็นดังนี้

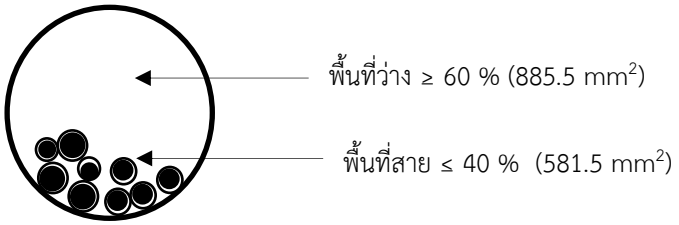
สาย IEC 01 ขนาด 35 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (93.9 x 3 เส้น) = 281.7 mm^2

สาย IEC 01 ขนาด 25 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (73.8 x 1 เส้น) = 73.8 mm^2

สาย IEC 01 ขนาด 10 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (35.2 x 1 เส้น) = 35.2 mm^2

สาย NYY 1/C ขนาด 16 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (47.7 x 4 เส้น) = 190.8 mm^2

รวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายทั้งหมดเท่ากับ 581.5 mm^2



จากตารางที่ 6.7 (หนังสือประกอบการเรียน) และตารางที่ 5-3 (วสท. 2564) ต้องมีพื้นที่หน้าตัดสายไฟฟ้ารวมฉนวนรวมกันไม่เกิน 40 % ของพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อ เลือกใช้ท่อโลหะหนา ขนาด 40 มม. (1 1/2 นิ้ว)

10. วงจรย่อยใช้สาย IEC 01 ทั้งหมดเดินร่วมกันในรางเดินสายเดียวกัน มีรายละเอียดดังนี้

ระบบ 3 เฟส 4 สาย จำนวน 4 วงจร ประกอบไปด้วย

วงจรที่ 1 และ 2 ใช้สายขนาด 35 mm^2 ทั้งหมดรวมจำนวน 8 เส้น

วงจรที่ 3 และ 4 ใช้สายขนาด 16 mm^2 ทั้งหมดรวมจำนวน 8 เส้น

ระบบ 1 เฟส 2 สาย จำนวน 10 วงจร ประกอบไปด้วย

วงจรที่ 1 ถึง 3 ใช้สายขนาด 10 mm^2 ทั้งหมดรวมจำนวน 6 เส้น

วงจรที่ 4 และ 5 ใช้สายขนาด 6 mm^2 ทั้งหมดรวมจำนวน 4 เส้น

วงจรที่ 6 ถึง 10 ใช้สายขนาด 2.5 mm^2 ทั้งหมดรวมจำนวน 10 เส้น

วงจรย่อยนี้ใช้สายดินของบริภัณฑ์ร่วมกันใช้สายขนาด 10 mm^2 จำนวน 1 เส้น จงหาขนาดของรางเดินสายและขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละขนาด

<u>วิธีทำ</u>

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้ารวมฉนวนจากตารางที่ 6.8 (หนังสือประกอบการเรียน) เป็นดังนี้

สายขนาด 35 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (93.9 x 8 เส้น) = 751.2 mm^2

สายขนาด 16 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (47.7 x 8 เส้น) = 381.6 mm^2

สายขนาด 10 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (35.2 x 7 เส้น) = 246.4 mm^2

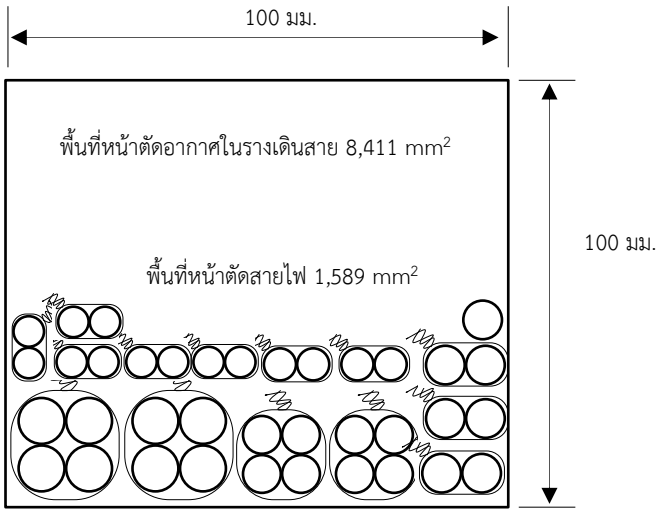
สายขนาด 6 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (21.2 x 4 เส้น) = 84.8 mm^2

สายขนาด 2.5 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนเท่ากับ (12.5 x 10 เส้น) = 125 mm^2

รวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายทั้งหมดเท่ากับ 1,589 mm^2 พื้นที่หน้าตัดของสายรวมฉนวนต้องไม่เกิน 20 % ของพื้นที่หน้าตัดรางเดินสาย

พื้นที่หน้าตัดรางเดินสาย = 1,589/0.2 = 7,945 mm^2 (ไม่น้อยกว่า)

จากตารางที่ 6.9 (หนังสือประกอบการเรียน) เลือกใช้รางเดินสายขนาด 100 x 100 มม. = 10,000 mm^2



สำหรับขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ตัวนำที่มีกระแสไหลเท่ากับ 12+10 = 32 เส้น รวมกันเกิน 30 เส้น ต้องใช้ตัวคูณลดกระแสเรื่องกลุ่มวงจร จากตารางที่ 5-8 จะได้ตัวคูณปรับค่า

คิดแบบวงจร 1 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/2 = 32/2 = 16 ตัวปรับค่าคือ 0.41

สายขนาด 35 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 109 x 0.41 = 44.69 A

สายขนาด 16 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 66 x 0.41 = 27.06 A

สายขนาด 10 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 50 x 0.41 = 20.5 A

สายขนาด 6 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 36 x 0.41 = 14.76 A

สายขนาด 2.5 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 21 x 0.41 = 8.61 A

คิดแบบวงจร 3 เฟส จะได้กลุ่มวงจรเท่ากับ n/3 = 32/3 = 10.66 ตัวปรับค่าคือ 0.45

สายขนาด 35 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 96 x 0.45 = 43.20 A

สายขนาด 16 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 59 x 0.45 = 26.55 A

สายขนาด 10 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 44 x 0.45 = 19.8 A

สายขนาด 6 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 31 x 0.45 = 13.95 A

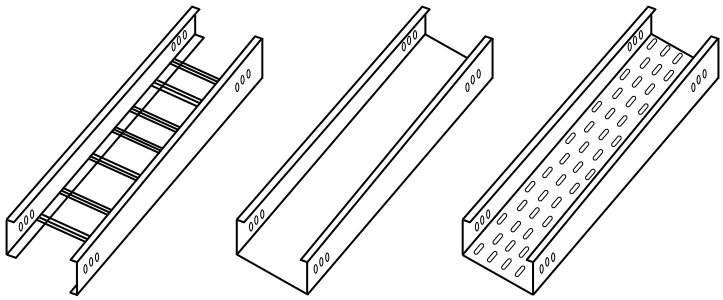
สายขนาด 2.5 mm^2 ได้ขนาดกระแสเท่ากับ 18 x 0.45 = 8.10 A

เลือกตอบแบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟส ก็ได้ ทั้งนี้หากในทางปฏิบัติวงจรใดมีกระแสที่ทราบแน่นอนแล้วว่ามีค่าไม่เกิน 30 % ของพิกัดกระแส เมื่อคิดตัวคูณปรับค่าแล้ว (เช่น สายขนาด 2.5 mm^2 กระแส 30 % ของ

8.61 A เท่ากับ 2.58 A) ไม่ต้องนับกลุ่มวงจรนี้ ซึ่งอาจทำให้จำนวนตัวนำกระแสไม่เกิน 30 เส้น ส่งผลให้ไม่ต้องใช้ตัวคูณลดกระแสเรื่องกลุ่มวงจร ใช้ค่ากระแสตามตารางที่ 5-20 (กลุ่ม 2) ช่องตัวนำกระแส 3 เส้น สายแกนเดียวได้เลย

11. การเดินสายในรางเคเบิล (Cable Trays) มีกี่ชนิด แต่ละชนิดมีข้อกำหนดสำคัญอย่างไร

ตอบ การเดินสายในรางเคเบิล (cable trays) มี 3 ชนิดคือ รางเคเบิลแบบบันได (cable ladder) รางเคเบิลแบบระบบอากาศ และรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ ดังรูปด้านล่าง รางเคเบิลทั่วไปปกติไม่มีฝาปิด แต่ในการใช้งานในบางสถานที่อาจออกแบบให้มีฝาปิดได้ แต่ต้องมีผนังด้านข้าง



รูปการเดินสายในรางเคเบิล

การเดินสายในรางเคเบิลมีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

1) สายและอุปกรณ์ต่อไปนี้อนุญาตให้ติดตั้งในรางเคเบิลได้ แต่ต้องเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดของการเดินสายหรือของอุปกรณ์นั้น ๆ

ก) สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ (mineral insulated cable), ชนิด MC (metal-clad cable) และ ชนิด AC (armored cable)

ข) สายเคเบิลแกนเดียวชนิดมีเปลือกนอกทั้งในระบบแรงสูงและแรงต่ำ และขนาดไม่เล็กกว่า 25 mm^2

ค) สายดินทุกขนาด

ง) สายเคเบิลหลายแกนในระบบแรงสูงและระบบแรงต่ำทุกขนาด

จ) สายชนิดหลายแกนสำหรับควบคุมสัญญาณและไฟฟ้ากำลัง

ฉ) ท่อร้อยสายชนิดต่าง ๆ

2) ห้ามใช้รางเคเบิล ในกรณีดังต่อไปนี้

ก) ห้ามใช้รางเคเบิลในปล่องลิฟต์ หรือสถานที่ที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ

ข) ห้ามติดตั้งท่อสำหรับงานอื่นที่ไม่ใช่งานไฟฟ้าเช่น ท่อไอน้ำ ท่อประปา ท่อแก๊ส เป็นต้น อยู่บนรางเคเบิล

ค) ห้ามติดตั้งสายเคเบิลระบบแรงต่ำในรางเคเบิลเดียวกันกับสายเคเบิลระบบแรง

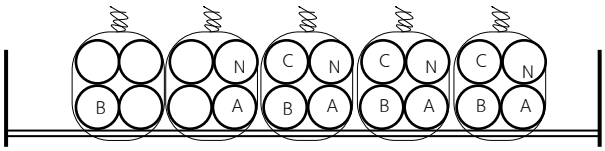
สูง ยกเว้น มีแผ่นกั้นที่แข็งแรงและไม่ติดไฟ

3) รางเคเบิลต้องมีความแข็งแรงและมั่นคง สามารถรับน้ำหนักสาย ทั้งหมดที่ติดตั้งและไม่มีส่วนแหลมคมที่อาจทำให้ฉนวนและเปลือกสายเสียหาย มีการป้องกันการผุกร่อนอย่างพอเพียงกับสภาพการใช้งาน ต้องมีผนังด้านข้าง และใช้เครื่องประกอบการติดตั้งที่เหมาะสม ถ้าเป็นรางเคเบิลอโลหะ ต้องทำด้วยวัสดุต้านทานเปลวเพลิง

4) รางเคเบิลต้องต่อถึงกันยาวโดยตลอดทั้งทางกล และทางไฟฟ้าและต้องต่อลงดิน แต่ห้ามใช้รางเคเบิลเป็นตัวนำต่อลงดิน สำหรับสายที่ติดตั้งบนรางเคเบิลเมื่อเดินแยกเข้าช่องร้อยสายอื่นต้องมีการจับยึดให้มั่นคง

5) รางเคเบิลต้องติดตั้งในที่เปิดเผยและเข้าถึงได้ และมีที่ว่างพอเพียงที่จะปฏิบัติงานบำรุงรักษาสายเคเบิลได้สะดวก กรณีรางเคเบิลวางเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร

6) เมื่อใช้สายเคเบิลแกนเดียว สายเส้นไฟและสายนิวทรัลของแต่ละวงจร ต้องเดินรวมกันเป็นกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยสายเส้นนิวทรัล 1 เส้น และสายเส้นไฟเฟสละ 1 เส้น และสายต้องมัดเข้าด้วยกันเพื่อป้องกันการเกิดกระแสไม่สมดุล ดังรูปด้านล่าง เนื่องจากการเหนี่ยวนำและป้องกันสายเคเบิลเคลื่อนตัวอย่างรุนแรงเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร



รูปสายเคเบิลแกนเดียวมัดเป็นกลุ่มเพื่อป้องกันการเหนี่ยวนำ

7) การต่อสายในรางเคเบิลต้องทำให้ถูกต้องตามวิธีการต่อสาย แต่จุดต่อสายต้องอยู่ภายในรางเคเบิล และต้องไม่สูงเลยขอบด้านข้างของรางเคเบิล

8) จำนวนสายเคเบิลและการวางและขนาดกระแสของสายเคเบิลระบบแรงต่ำที่วางอยู่ในรางเคเบิลเดียวกันต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5-30 ถึง 5-33 (วสท. 2564)

9) จำนวนสายเคเบิลและการวางและขนาดกระแสของสายเคเบิลระบบแรงสูง ต้องเป็นไปตามตารางที่ 5-36 (วสท. 2564)

10) การจัดวางสายสามารถแยกได้ 2 เป็นกรณีดังนี้

ก) กรณีเป็นสายเคเบิลแกนเดี่ยวทั้งระบบแรงสูงและแรงต่ำวางได้ 3 แบบดังนี้

ก.1 วางเรียงชิดติดกันเป็นชั้นเดียว ห้ามวางสายเคเบิลซ้อนกัน

ก.2 วางเป็นกลุ่มในลักษณะสามเหลี่ยม โดยมีระยะห่างระหว่างกลุ่มไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเคเบิลเส้นใหญ่ที่สุดของกลุ่มที่อยู่ใกล้กัน

ก.3 วางเรียงแบบเส้นเว้นเส้น โดยมีระยะห่างระหว่างเส้นไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเคเบิลเส้นใหญ่กว่าที่อยู่ใกล้กัน

ข) กรณีเป็นสายเคเบิลหลายแกนเฉพาะระบบแรงต่ำวางได้ 2 แบบดังนี้

ข.1 วางเรียงชิดติดกันเป็นชั้นเดียว ห้ามวางสายเคเบิลซ้อนกัน

ข.2 วางเรียงแบบเส้นเว้นเส้น โดยมีระยะห่างระหว่างเคเบิลไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเคเบิลใหญ่กว่าที่อยู่ใกล้กัน

สำหรับในทางปฏิบัติในการเลือกขนาดรางเดินสายควรเผื่อไว้ประมาณ 30 % จากที่คำนวณได้ เนื่องจากเพื่อให้สะดวกในการผูกมัดและรักษาระยะห่างให้ได้ตามมาตรฐานหรืออาจเผื่อไว้ในอนาคต สามารถเพิ่มจำนวนสายไฟฟ้า เคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนสายไฟฟ้าได้สะดวกรวดเร็ว

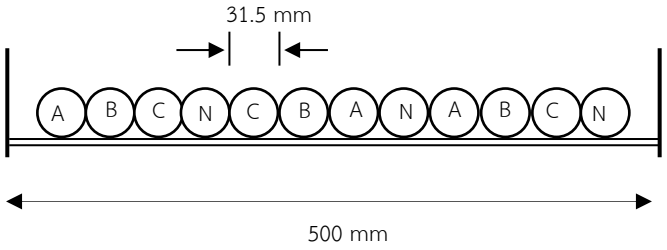
กรณีสายเคเบิลแกนเดียวชนิดไม่มีเปลือกนอก เช่น สายชนิด IEC 01 อนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเจ้าหน้าที่คอยดูแลและบำรุงรักษาโดยเฉพาะ และต้องติดตั้งในรางเคเบิลแบบบันไดหรือรางแบบมีช่องระบายอากาศ ซึ่งขนาดสายจะต้องไม่เล็กกว่า 50 mm^2 เท่านั้น

12. วงจรสายเมน 3 เฟส 4 สาย ใช้สายเคเบิลแกนเดี่ยวชนิด NYY 240 mm^2 จำนวน 3 วงจร วงจรละ 4 เส้น วางบนรางเคเบิลแบบบันไดแนวนอน จงหาขนาดรางเคเบิล เมื่อวางชิดติดกัน วางเป็นกลุ่ม และวางห่างกัน และระบุขนาดกระแสของสายเคเบิลทั้ง 3 รูปแบบ โดยอุณหภูมิใช้งานโดยรอบ 41 °C

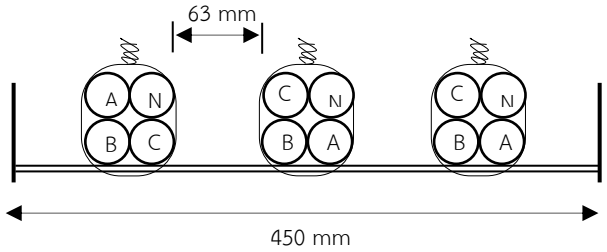
<u>วิธีทำ</u>

จากตารางที่ 6.8 (หนังสือประกอบการเรียน) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมฉนวนและเปลือกของสายเคเบิลแกนเดี่ยวชนิด NYY 240 mm^2 เท่ากับ 31.5 mm

1) วางชิดติดกัน ขนาดของรางเคเบิลเท่ากับ 31.5 x 12 x 1.30 = 491.4 mm
เลือกขนาดรางเคเบิลกว้าง 500 มม.

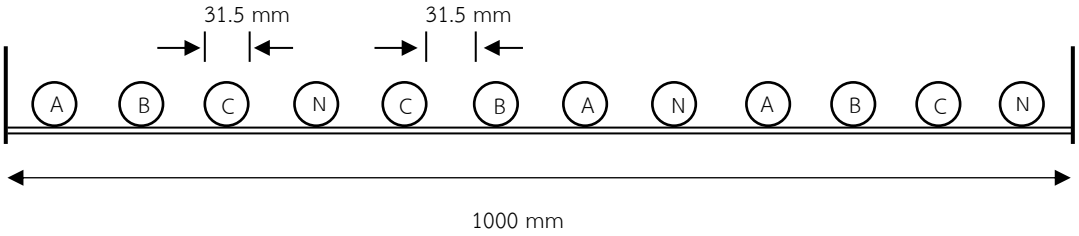


2) วางเป็นกลุ่ม ขนาดของรางเคเบิลเท่ากับ 31.5 x 10 x 1.30 = 409.5 mm
เลือกขนาดรางเคเบิลกว้าง 450 mm



2) ว่างห่าง ขนาดของรางเคเบิลเท่ากับ 31.5 x 23 x 1.30 = 941.85 mm

เลือกขนาดรางเคเบิลกว้าง 1000 mm



ขนาดกระแสของสายเคเบิลในการจัดวางสายทั้ง 3 รูปแบบ

ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิใช้งานโดยรอบ 41 °C จากตารางที่ 5-43 เท่ากับ 0.91

ตัวคูณปรับค่ากลุ่มวงจรบนรางเดเบิลแบบบันได จำนวน 3 กลุ่มวงจรจากตารางที่ 5-40

วางชิดเท่ากับ 0.96 วางเป็นกลุ่มเท่ากับ 1.0 และวางห่างเท่ากับ 0.96

ขนาดกระแสแต่ละเส้นบนรางเคเบิลแบบบันได ใช้ค่าจากตารางที่ 5-30 ได้ดังนี้

1) วางชิดติดกัน พิกัดกระแสของสายเท่ากับ 441 x 0.91 x 0.96 = 385 A

2) วางเป็นกลุ่ม พิกัดกระแสของสายเท่ากับ 422 x 0.91 x 1.00 = 384 A

3) วางห่างกัน พิกัดกระแสของสายเท่ากับ 535 x 0.91 x 0.96 = 467 A

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 7 มอเตอร์ไฟฟ้า

1. ชนิดมอเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามลักษณะการทำงานได้กี่ชนิด อะไรบ้าง

ตอบ มอเตอร์แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (dc motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง (direct current) เมื่อจ่ายไฟเข้ามอเตอร์ กระแสจะถูกแยกไปสองส่วน ส่วนแรกจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (field coil) บนตัวที่อยู่กับที่ (stator) ส่วนที่สองจะไหลเข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์ (armature coil) ในตัวหมุน (rotor) โดยผ่านแปรงถ่าน (carbon brush) และซี่คอมมิวเทเตอร์ (commutator) เกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนามมีทิศทางเสริมและหักล้างกัน ทำให้เกิดแรงบิดที่ตัวหมุนจนทำให้หมุนไปได้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งตามการจ่ายกระแสเข้าขดลวดอาร์มาเจอร์ได้ 2 ชนิด คือชนิดกระตุ้นภายนอก (separated excited motor) และชนิดกระตุ้นด้วยตัวเอง (self excited motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีข้อดี คือมีแรงบิดเริ่มเดินสูง สามารถควบคุมความเร็วได้ง่าย นิยมใช้ในโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ และกำลังขับในรถไฟฟ้า เป็นต้น

2. มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (induction Motor) หรืออินดักชันมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current) ทำงานโดยอาศัยการเหนี่ยวนำด้วยอำนาจแม่เหล็ก โดยจ่ายไฟให้ขดลวดที่อยู่กับที่ กระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไปที่ตัวหมุน ที่ตัวหมุนจะมีกระแสไฟฟ้าไหลและเกิดอำนาจแม่เหล็กในทิศทางหักล้างและเสริมกันทำให้เกิดแรงบิดที่ตัวหมุนจนทำให้หมุนไปได้ อินดักชันมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีความทนทาน บำรุงรักษาง่าย ราคาถูก มีทั้งชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส และยังสามารถแบ่งตามชนิดของตัวหมุน (rotor) ออกได้ 2 ชนิด คือ

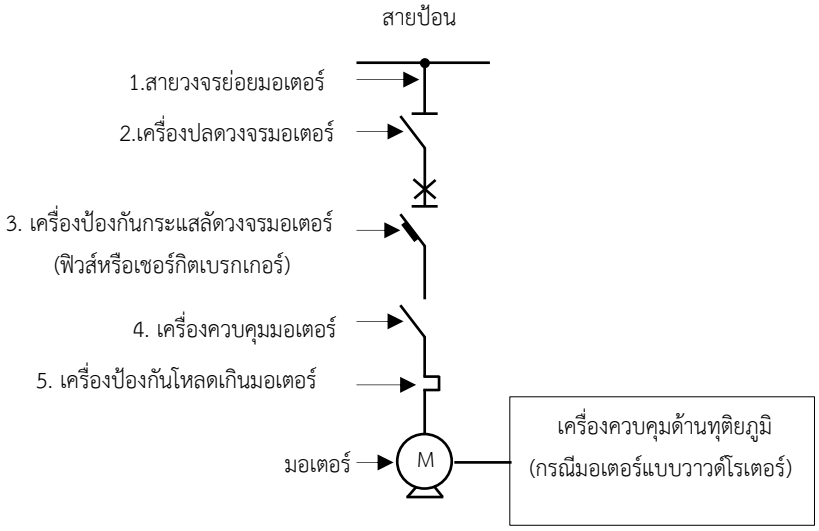
1. โรเตอร์แบบทรงกระรอก (squirrel cage induction motor) ที่โรเตอร์จะฝังตัวนำไฟฟ้าไว้และตัวนำนี้จะถูกลัดวงจรเข้าด้วยกัน การใช้งานทำได้ด้วยการจ่ายไฟเข้าที่สเตเตอร์

2. โรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ (wound rotor motor) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่าสลิปริงมอเตอร์ (slip rings motor) ที่โรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีขดลวดผันอยู่ด้วย และจะมีสายต่อออกมาข้างนอกโดยผ่านสลิปริง (slip rings) เพื่อช่วยในการเริ่มเดิน ในการใช้งานจะจ่ายไฟเข้าที่สเตเตอร์เช่นเดียวกัน การลดกระแสขณะเริ่มเดินเครื่องทำได้โดยการใส่ตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวดของโรเตอร์

3. มอเตอร์ซิงโครนัส (synchronous motor) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส โดยจะหมุนที่ความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) ตัวมอเตอร์จะมีการพันขดลวดทั้งที่ตัวสเตเตอร์และตัวโรเตอร์ โดยที่สเตเตอร์จะจ่ายไฟกระแสสลับ และที่โรเตอร์จะจ่ายไฟกระแสตรงเข้าไป และถ้าจ่ายไฟกระแสตรงเข้าที่โรเตอร์มากเกินไป มอเตอร์จะทำหน้าที่สลับเป็นเครื่องกำเนิดจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบในลักษณะกระแสนำหน้าแรงดัน เรียกว่าซิงโครนัสมอเตอร์คอนเดนเซอร์ (synchronous condenser motor) ใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power factor) ในระบบไฟฟ้าได้

2. ส่วนประกอบของวงจรย่อยมอเตอร์มีกี่ส่วน อะไรบ้าง

ตอบ ส่วนประกอบของวงจรย่อยมอเตอร์ มี 5 ส่วน ดังรูปด้านล่าง มอเตอร์ที่ออกแบบมาใช้งานเฉพาะอย่าง อาจมีข้อกำหนดเพิ่มเติมอีก ซึ่งต้องดูในเรื่องนั้น ๆ เป็นการเฉพาะ



รูปส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์ทั่วไป

3. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 400 V ขนาด 7.5 HP 11 A เริ่มเดินแบบ Direct on Line จงระบุขนาดสายไฟฟ้า กำหนดให้ใช้สาย IEC 01 เดินในท่อโลหะเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า = 1.25 x 11 A

= 13.75 A

ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง ขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A)

4. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 75 HP 400 V เริ่มเดินแบบ Star–delta Starting จงหาขนาดสายไฟฟ้าและขนาดช่องเดินสายใน 3 กรณีดังนี้

4.1 ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนังและเดินบนฉนวนลูกถ้วยอากาศแนวตั้ง

4.2 ใช้สาย NYY แกนเดียวเดินร้อยท่อฝังดินและเดินชิดบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศแนวนอน

4.3 ใช้สาย XLPE แกนเดียวเดินร้อยท่อฝังดินและเดินชิดบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศแนวนอน

<u>วิธีทำ</u>

จากตารางที่ 7.2 (หนังสือประกอบการเรียน) มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 75 HP แรงดัน 400 V พิกัดกระแส 100 A

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 100 A

≥ 125 A

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ (100/√3) A

≥ 58 A

ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง

จากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ขนาด 3 x 70 mm^2 (149 A)

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 2 (3 x 16 mm^2) (59 A) *กรณีเดินสายแยกท่อ*

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 6 x 25 mm^2 (77 A) *กรณีเดินสายท่อเดียวกัน*

ใช้สาย IEC 01 เดินบนฉนวนลูกถ้วยอากาศแนวตั้ง

จากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ขนาด 3 x 35 mm^2 (141 A)

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 6 x 16 mm^2 (78 A)

ใช้สาย NYY แกนเดียว เดินร้อยฝังดิน

จากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ขนาด 3 x 50 mm^2 (136 A)

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 2 (3 x 16 mm^2) (72 A) *กรณีเดินสายแยกท่อ*

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 6 x 25 mm^2 (94 A) *กรณีเดินสายท่อเดียวกัน*

ใช้สาย NYY แกนเดียว เดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ วางชิดแนวนอน

จากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ขนาด 3 x 50 mm^2 (151 A)

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 6 x 25 mm^2 (99 A)

ใช้สาย XLPE แกนเดียว เดินร้อยฝังดิน

จากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ขนาด 3 x 35 mm^2 (132 A)

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 2 (3 x 10 mm^2) (63 A) *กรณีเดินสายแยกท่อ*

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 6 x 16 mm^2 (83 A) *กรณีเดินสายท่อเดียวกัน*

ใช้สาย XLPE แกนเดียว เดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ วางชิดแนวนอน

จากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ขนาด 3 x 35 mm^2 (160 A)

จากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ขนาด 6 x 25 mm^2 (128 A)

5. มอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์ 3 เฟส 400 V ขนาด 60 HP พิกัดกระแสด้านปฐมภูมิ 104 A ด้านทุติยภูมิ 85 A ชุดตัวต้านทานเป็นแบบใช้งานต่อเนื่องกัน ติดตั้งแยกจากเครื่องควบคุม จงหาขนาดสายไฟฟ้า กำหนด IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ ≥ 1.25 x 104 ≥ 130 A

ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ขนาด 3 x 70 mm^2 (149 A)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ จากเครื่องควบคุมไปยังมอเตอร์ ≥ 1.25 x 85 ≥ 106 A

ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ขนาด 3 x 50 mm^2 (117 A)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ จากเครื่องควบคุมมอเตอร์ไปยังตัวต้านทาน K_1 = 110 %

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ ≥ 1.10 x 85 ≥ 94 A

ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ขนาด 3 x 35 mm^2 (96 A)

6. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 400 V ขนาด 25 HP, 50 HP และ 150 HP ไม่ระบุค่าตัวประกอบใช้งาน ใช้เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดติดตั้งแยกต่างหาก จงกำหนดขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

<u>วิธีทำ</u>

มอเตอร์เหนี่ยวนำทั่วไป 3 เฟส 400 V เกิน 10 HP กำหนดเริ่มเดินแบบ Star Delta Starter

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกินไม่เกิน 100 % ของพิกัดกระแสมอเตอร์ ดังนี้

มอเตอร์ขนาด 25 HP ขนาดปรับตั้ง = 35/√3 = 20.21 A (เลือกขนาด 18 - 25 A)

มอเตอร์ขนาด 50 HP ขนาดปรับตั้ง = 69/√3 = 39.84 A (เลือกขนาด 36 - 52 A)

มอเตอร์ขนาด 150 HP ขนาดปรับตั้ง = 195/√3 = 113 A (เลือกขนาด 110 - 150 A)

7. อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส 400 V ขนาด 100 HP 131 A ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.82 ใช้งานต่อเนื่อง ถ้าต่อคาปาซิเตอร์ขนาด 25 kvar จงกำหนดขนาดสายไฟฟ้าและขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน ทั้งก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์ กำหนดสาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

กระแสของมอเตอร์เท่ากับ 131 A เมื่อยังไม่ต่อคาปาซิเตอร์ในวงจร จะได้

$kVA = \sqrt{3} \times 400 \times 131 \times 10^{-3} = 90.76$ kVA

$kW = 90.76 \times 0.82 = 74.42$ kW

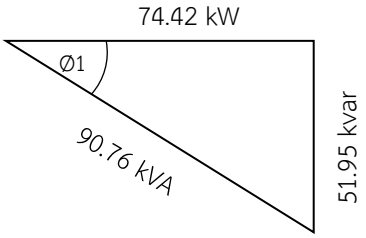
$kvar = \sqrt{kVA^2 - kW^2} = \sqrt{90.76^2 - 74.42^2} = 51.95$ kvar

เมื่อต่อคาปาซิเตอร์ในวงจร จะได้

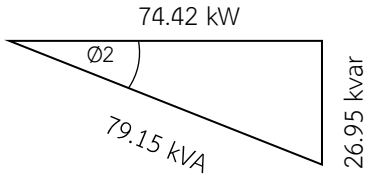
kW = 74.42 kW (เท่าเดิม)

kvar = 51.95 - 25 = 26.95 kvar

$kVA = \sqrt{kW^2 + kvar^2} = \sqrt{74.42^2 + 26.95^2} = 79.15$ kVA



ยังไม่ต่อคาปาซิเตอร์



ต่อคาปาซิเตอร์

กระแสของมอเตอร์เมื่อต่อคาปาซิเตอร์แล้ว = $\frac{79.15 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 400}$ = 114 A

ขนาดกระแสสายไฟก่อนติดตั้งคาปาซิเตอร์ = 1.25 x 131 = 164 A

ใช้สายไฟฟ้า IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนังขนาด 3 x 95 mm^2 (180A)

เลือกปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 131/√3 = 75.63 A (เลือกขนาด 65 - 90 A)

ขนาดกระแสสายไฟหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์ = 1.25 x 114 = 143 A

ใช้สายไฟฟ้า IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนังขนาด 3 x 70 mm^2 (149 A)

เลือกปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 114/√3 = 65.82 A (เลือกขนาด 60 - 80 A)

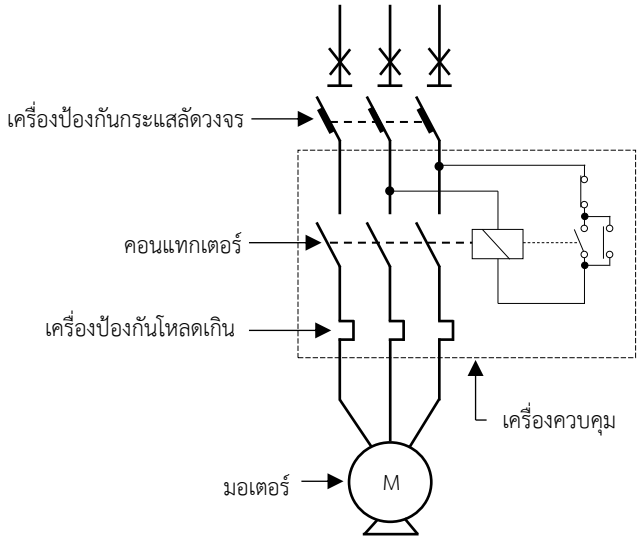
<u>หมายเหตุ</u> ในทางปฏิบัติอาจเลือกใช้สายขนาด 95 mm^2 เพื่อป้องกันหากตัวคาปาซิเตอร์ชำรุดหรือถูกปลดออกจากวงจรด้วยสาเหตุอื่น ๆ ส่วนการปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกินยังคงปรับตั้งเช่นเดิม

8. เครื่องควบคุมมอเตอร์และเครื่องปลดวงจรมอเตอร์หมายถึงอะไร และมีข้อพิจารณาเลือกใช้อย่างไร

<u>ตอบ</u> เครื่องควบคุมมอเตอร์ หมายถึง ชุดของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่บังคับให้มอเตอร์เริ่มเดินหรือหยุดหมุน และบางครั้งสามารถปรับความเร็วได้ด้วย ประกอบไปด้วย คอนแทกเตอร์ (Contactor) เครื่องป้องกันโหลดเกิน รวมถึงสวิตช์ต่างๆ ดังรูปด้านล่าง มีข้อพิจารณาเลือกใช้ดังนี้

1. มอเตอร์ขนาดเล็กที่ไม่เกิน 2 แรงม้า ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงดันไม่เกิน 416 V อาจจะใช้สวิตช์ไฟฟ้าแบบใช้งานทั่วไปที่มีขนาดกระแสไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของกระแสใช้งานของมอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นเครื่องควบคุมได้
2. มอเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้เต้ารับให้ถือว่าเต้ารับและเต้าเสียบเป็นเครื่องควบคุมด้วย
3. พิกัดกระแสของเครื่องควบคุมมอเตอร์ ต้องมีพิกัดไม่ต่ำกว่าค่าพิกัดของตัวมอเตอร์ ปกติจะระบุเป็นหน่วย kW หรือ HP ที่ตัวอุปกรณ์มีค่าตามขนาดของมอเตอร์

kW (Contactor) ≥ kW (Motor)



รูปเครื่องควบคุมมอเตอร์

4. การเลือกใช้คอนแทกเตอร์ ต้องเลือกชนิดของคอนแทกเตอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานด้วย เช่น มอเตอร์ขนาดเท่ากันแต่ตัวหนึ่งมีการเปิดปิดมากกว่าอีกตัวหนึ่ง หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์ย่อมจะทำงานหนักกว่า ด้วยเหตุนี้มาตรฐาน IEC ได้กำหนดชั้นการใช้งาน (Utilization Categories) ของคอนแทกเตอร์ไว้ในมาตรฐาน IEC 60947-4-1 (Contactors and Motor – starters) แสดงไว้ในตารางด้านล่าง

ตารางขั้นการใช้งาน (Utilization Categories) ตามมาตรฐาน IEC-947-4-1

Utilization Categories	Typical Application
AC-1	Non-inductive or Slightly inductive loads, Resistance Furnaces
AC-2	Slip-ring Motor : Starting, Switching
AC-3	Squirrel-cage Motors : Starting, Switching off Motor During Running
AC-4	Squirrel-cape motors : Starting, Plugging, Inching
AC-5a	Switching of Electric Discharge Lamp Controls
AC-5b	Switching of Incandescent Lamps
AC-6a	Switching of Transformers
AC-6b	Switching of Capacitor Banks
AC-7a	Slightly Inductive Loads in Household Appliance and Similar Appliances
AC-7b	Motor Loads for Household Appliances
AC-8a	Hermetic Refrigerant Compressor Motor Control with Manual Resetting of Overload Release

AC-8b	Hermetic Refrigerant Compressor Motor Control with Automatic Resetting of Overload Release
DC-1	Non-inductive or Slightly Inductive Loads, Resistance Furnaces
DC-3	Shunt-Motors : Starting, Plugging, Inching, Dynamic Breaking of DC Motors
DC-5	Series-Motor : Starting, Plugging, Inching, Dynamic Breaking of DC Motors
DC-6	Switching of Incandescent Lamps

โดยชั้นที่นิยมใช้งานมีดังนี้

AC-1 สำหรับโหลดประเภทความต้านทาน

AC-2 สำหรับโหลดมอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์ ซึ่งมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 2.5 เท่า

AC-3 สำหรับโหลดมอเตอร์ทั่วไป จึงเหมาะที่จะใช้กับมอเตอร์ชนิดสเควอเรลเคจอินดักชัน ซึ่งมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 5-7 เท่า หรือใช้กับมอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์ก็ได้

AC-4 ใช้สำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานเป็นช่างสั้นๆ มีการเดินและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง

AC-6b ใช้สำหรับวงจรคาปาซิเตอร์แบงก์

เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ หมายถึงเครื่องปลดวงจรมอเตอร์ต้องสามารถปลดมอเตอร์และเครื่องควบคุมมอเตอร์ออกจากวงจรขณะมีโหลดได้อย่างปลอดภัย ซึ่งสามารถปลดสายทุกเส้นได้พร้อมกัน และต้องมีเครื่องหมายแสดงอย่างชัดเจนว่าอยู่ในตำแหน่งปลดหรือสับ โดยทั่วไปนิยมใช้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือ สวิตช์ตัดตอนขณะมีโหลดเป็นเครื่องปลดวงจรมอเตอร์ มีข้อพิจารณาเลือกใช้ดังนี้

1. พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร ต้องมีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 115 % ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

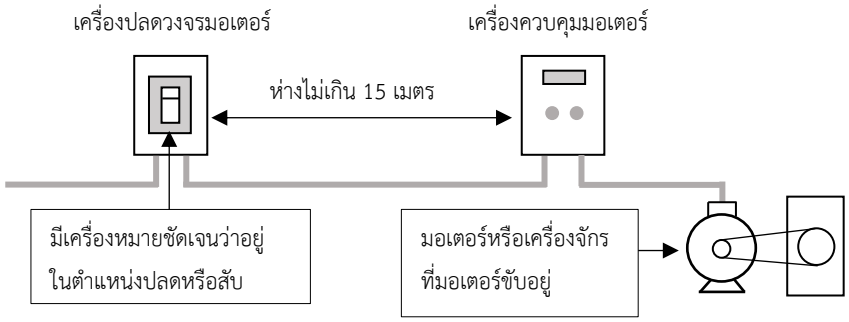
$$I_{DS} \geq 1.15 \times I_M$$

เมื่อ I_{DS} = พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร หน่วย A

I_M = กระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์ หน่วย A

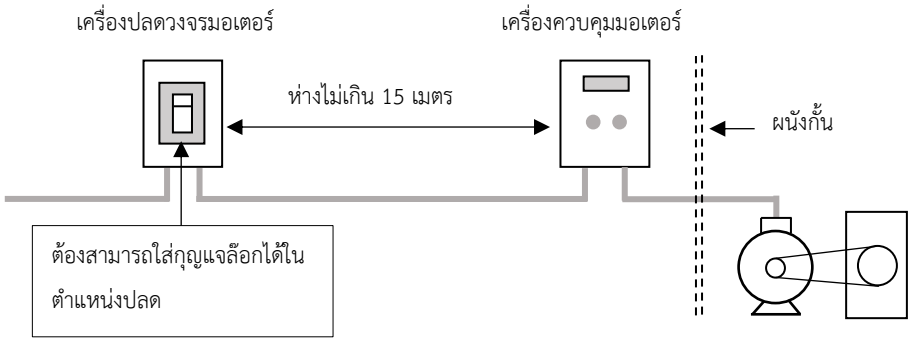
2. ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปลดวงจร ต้องเป็นดังนี้

ก) เครื่องปลดวงจรต้องติดตั้งอยู่ในที่ซึ่งมองเห็นได้จากที่ตั้งเครื่องควบคุมมอเตอร์และห่างจากเครื่องควบคุมไม่เกิน 15 เมตร ดังรูปด้านล่าง



รูปตำแหน่งเครื่องปลดวงจรมองเห็นจากเครื่องควบคุมมอเตอร์

ข) เครื่องปลดวงจรต้องติดตั้งอยู่ในที่ซึ่งมองเห็นได้จากที่ตั้งมอเตอร์และเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับอยู่ด้วย แต่หากมองไม่เห็น เครื่องที่ปลดวงจรต้องสามารถใส่กุญแจล๊อกได้ในตำแหน่งปลด ดังรูปด้านล่าง



รูปตำแหน่งเครื่องปลดวงจรมองไม่เห็นจากที่ตั้งมอเตอร์และเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับอยู่

ค) กรณีที่สถานที่นั้นมีมอเตอร์ตัวเดียว อนุญาตให้ใช้เมนสวิตช์เป็นเครื่องปลดวงจรได้ถ้าสวิตช์นั้นสอดคล้องกับที่กำหนดในเรื่องมอเตอร์ และมองเห็นได้จากเครื่องควบคุมมอเตอร์และอยู่ห่างกันไม่เกิน 15 เมตร และหากกรณีที่ใช้สวิตช์ที่บังคับด้วยมือเพื่อปลดวงจรมอเตอร์ออก ต้องติดตั้งสวิตช์ในตำแหน่งที่มองเห็นได้จากที่ตั้งมอเตอร์ และอยู่ห่างจากมอเตอร์ไม่เกิน 15 เมตร เช่นกัน

3. เครื่องปลดวงจรใช้ตัวเดียวกับเครื่องควบคุม อนุญาตให้ใช้สวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีขนาดสอดคล้องกับขนาดของมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นเครื่องควบคุมและเครื่องปลดวงจรได้ ถ้าสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นสามารถปลดตัวนำเส้นไฟได้หมดและมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน (อาจเป็นฟิวส์ของวงจรย่อยก็ได้) ที่สามารถปลดตัวนำทุกสายเส้นไฟได้ และเป็นสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งดังต่อไปนี้

ก) สวิตช์ตัดวงจรชนิดอากาศ (air-break switch) ชนิดปลดสับด้วยมือที่ก้านสวิตช์โดยตรง

ข) เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ปลดสับที่ก้านของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยตรง

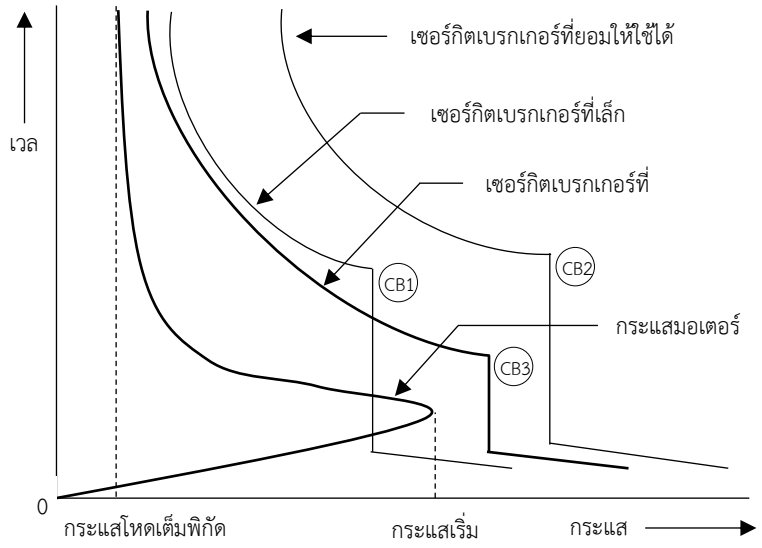
ค) สวิตช์น้ำมันที่ใช้สำหรับวงจรในระบบแรงต่ำ และไม่เกิน 100 A

9. การกำหนดพิกัดการปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรย่อยมอเตอร์ มีข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรย่อยมอเตอร์ ที่นิยมใช้กันมี 2 ชนิด คือ ฟิวส์ และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ มีข้อกำหนดดังนี้

1. ฟิวส์ ตัวฟิวส์ที่ใช้ในการป้องกันการลัดวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ ฟิวส์ทำงานไว และ ฟิวส์หน่วงเวลา ในการกำหนดขนาดของฟิวส์ต้องให้เล็กที่สุดเท่าที่ทำได้ แต่ฟิวส์ต้องไม่ขาดเมื่อมอเตอร์เริ่มเดิน สำหรับฟิวส์ที่เหมาะกับวงจรมอเตอร์ คือฟิวส์ชนิดหน่วงเวลา เช่น aM Fuse เป็นต้น

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในการป้องกันการลัดวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภทเช่นกัน คือเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที และเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน การกำหนดขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็อาศัยหลักการเดียวกับฟิวส์ คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องไม่ปลดวงจรในช่วงมอเตอร์เริ่มเดิน ในรูปด้านล่าง เป็นการแสดงหลักการกำหนดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะเห็นว่าถ้าเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีขนาดและพิกัดกระแสสูงกว่ากระแสโหลดเต็มที่เพียงเล็กน้อยคือ CB1 เมื่อมอเตอร์เริ่มเดินเซอร์กิตเบรกเกอร์จะปลดวงจร เนื่องจากกระแสเริ่มเดินเกินค่ากระแสทริบด้วยอำนาจแม่เหล็กของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จึงจำเป็นต้องกำหนดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ใหญ่ขึ้น ที่ยอมรับให้ใช้ได้คือ CB2 แต่อาจมีทางเลือกโดยการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ออกแบบมาให้มีค่ากระแสทริบด้วยอำนาจแม่เหล็กที่เหมาะสมคือ CB3 (ซึ่งมีกำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC ด้วย) หรืออาจใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถปรับตั้งค่ากระแสทริบด้วยอำนาจแม่เหล็กด้วยก็ได้



รูปเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับมอเตอร์

3. ขนาดพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรย่อยมอเตอร์ ต้องสามารถทนกระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ได้ และมีขนาดหรือการปรับตั้งไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางด้านล่าง ถ้าค่าได้คำนวณได้ไม่ตรงกับมาตรฐานของฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็อาจเลือกค่าใกล้เคียงที่สูงถัดขึ้นไปได้ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I_{CB} = K_2 \times I_M$$

เมื่อ I_{CB} = พิกัดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรย่อยมอเตอร์ หน่วย A

K_2 = ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ตามตารางที่ 7.4

I_M = กระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์ หน่วย A

ตารางพิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ ; K_2			
	ฟิวส์ ทำงานไว	ฟิวส์ หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ปลดทันที	เซอร์กิตเบรกเกอร์ เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส	300	175	800	250
มอเตอร์กระแสสลับแบบโฟลีเฟสอื่นๆ ที่นอกเหนือจากมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์	300	175	800	250
มอเตอร์แบบทรงกระรอก	300	175	800	250
มอเตอร์แบบซิงโครนัส	300	175	800	250
มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์	150	150	800	150
มอเตอร์กระแสตรง (แรงดันคงที่)	150	150	250	150

ในทางปฏิบัติหากไม่ทราบข้อมูล เช่น ชนิดของมอเตอร์ วิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ รหัสอักษร แนะนำเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีพิกัดกระแสประมาณ 2 ถึง 2.5 เท่าของกระแสโหลดเต็มพิกัดมอเตอร์ หรือใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดที่ปรับตั้งค่ากระแสทริบด้วยอำนาจแม่เหล็กก็ได้

10. จงกำหนดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรย่อยมอเตอร์แบบกรงกระรอก เริ่มเดินโดยผ่านรีแอกเตอร์ 3 เฟส 400 V มีรายละเอียดดังนี้ กำหนดใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน

M1 ขนาด 15 HP กระแส 21 A กระแสล็อคโรเตอร์ 68 A ไม่ระบุรหัสอักษร

M2 ขนาด 25 HP รหัสอักษร A กระแส 35 A

M3 ขนาด 30 HP รหัสอักษร B กระแส 42 A

<u>วิธีทำ</u>

มอเตอร์ M1 หารหัสอักษรจากกระแสล็อกโรเตอร์

kVA = (√3 x 68 x 400)/1,000 = 47 kVA

kVA/hp = 47/15 = 3.133

เทียบจากตารางด้านล่างจะได้รหัสอักษร A

ตารางรหัสอักษรแสดงการล็อกโรเตอร์

รหัสอักษร	kVA / HP (ขณะล็อกโรเตอร์)
A	0 - 3.14
B	3.15 - 3.54
C	3.55 - 3.99
D	4.00 – 4.49
E	4.50 – 4.99
F	5.00 – 5.59
G	5.60 – 6.29
H	6.30 – 7.09
J	7.10 – 7.99
K	8.00 – 8.99
L	9.00 - -9.99
M	10.00 – 11.19
N	11.20 – 12.49
P	12.50 – 13.99
R	14.00 – 15.99
S	16.00 – 17.99
T	18.00 – 19.99
U	20.00 – 22.39
V	ตั้วลงแต่ 22.40 ขึ้นไป

การกำหนดพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ใช้ตารางด้านล่าง

แทนในสมการ $I_{CB} = K_2 \times I_M$

M1 ขนาด 15 HP รหัสอักษร A พิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร = 150 % x 21 = 31.5 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 25 AT

M2 ขนาด 25 HP รหัสอักษร A พิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร = 150 % x 35 =52.5 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 AT

M1 ขนาด 30 HP รหัสอักษร B พิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร = 200 % x 42 = 84 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 80 AT

ตารางพิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ ; K_2			
	ฟิวส์ ทำงานไว	ฟิวส์ หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ปลดทันที	เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ทั้งหมดและมอเตอร์ 3 เฟส แบบกรงกระรอกและแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่หรือเริ่มเดินผ่านตัวต้านทานหรือรีแอ็กเตอร์				
-ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
-รหัสอักษร F ถึง V	300	175	700	250
-รหัสอักษร B ถึง E	250	175	700	200
-รหัสอักษร A	150	150	700	150
มอเตอร์กระแสสลับทั้งหมด แบบทรงกระรอก และแบบซิงโครนัสซึ่งเริ่มเดินโดยผ่านหม้อแปลงออโต กระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์				
-ไม่มีรหัสอักษร กระแสเกิน 30 แอมแปร์	250	175	700	200
-ไม่มีรหัสอักษร	200	175	700	200
-รหัสอักษร F ถึง V	250	175	700	200
-รหัสอักษร B ถึง E	200	175	700	200
-รหัสอักษร A	150	150	700	150
มอเตอร์แบบ กรงกระรอก กรแสไม่เกิน 30 แอมแปร์				
-ไม่มีรหัสอักษรกระแสเกิน 30 แอมแปร์	250	175	700	250
-ไม่มีอักษร	200	175	700	200
มอเตอร์แบบเวาด์โรเตอร์ ไม่มีรหัสอักษร	150	150	700	150
มอเตอร์กระแสตรง (แรงดันคงที่) ขนาดไม่เกิน 50 แรงม้า				
-ไม่มีรหัสอักษร กระแสเกิน 50 แรงม้า	150	150	250	150
-ไม่มีอักษร	150	150	175	150

หมายเหตุ 1) รหัสอักษรของมอเตอร์จะเป็นตัวแสดงกระแสของมอเตอร์ขณะเริ่มเดินตามมาตรฐาน NEMA

2) มอเตอร์ไม่มีรหัสอักษร หมายถึง มอเตอร์ที่ผลิตก่อนมีการกำหนดรหัสอักษรโดย NEMA Standard และมอเตอร์ที่ขนาดเล็กกว่า 1/2 แรงม้า

3) มอเตอร์ที่ผลิตตามมาตรฐานอื่นให้พิจารณาเปรียบเทียบรหัสอักษรจากค่าเควีเอต่อแรงม้า (kVA / HP) ขณะล็อคโรเตอร์ในตารางด้านบน

สำหรับรหัสอักษรของมอเตอร์ที่เป็นตัวแสดงกระแสของมอเตอร์ขณะเริ่มเดิน (ขณะล็อกโรเตอร์) ตามมาตรฐาน NEMA จะกล่าวถึงไว้ในมาตรฐาน วสท. 2556 ส่วนมาตรฐาน วสท. 2564 มิได้กล่าวถึงแล้ว

เนื่องจากมีหรือไม่มีรหัสอักษรค่าก็ไม่ไม่ต่างกันมากนัก ส่วนมากขึ้นอยู่กับชนิดและวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์มากกว่า

11. มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบปิดผนึก 3 เฟส 400 V 25 HP 35 A จงกำหนดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรย่อย กำหนดใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน

<u>วิธีทำ</u>

ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบปิดผนึก

แทนในสมการ I_{CB} = 1.75 x 35 = 61.25 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 AT

12. ต้องการต่อสายแยกมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 20 HP 3 เฟส 400 V 28 A ออกจากสายป้อนขนาด 150 mm^2 IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง จงกำหนดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรและขนาดสายต่อแยก โดยมีข้อกำหนดดังนี้ กำหนดใช้ IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง

12.1 สายต่อแยกยาวไม่เกิน 7.5 เมตร

12.2 สายต่อแยกไม่จำกัดความยาวและไม่ติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรที่จุดต่อแยก

12.3 สายต่อแยกไม่จำกัดความยาวและติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรที่จุดต่อแยก

<u>วิธีทำ</u>

มอเตอร์ขนาด 20 HP พิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร = 200 % x 28 = 56 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 AT

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 28 ≥ 35 A

เลือกสายชนิด IEC 01 ขนาด 3 x 10 mm^2 (44 A)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (28/√3 ≥ 20.21 A

เลือกสายชนิด IEC 01 ขนาด 6 x 6 mm^2 (31 A) *ร้อยท่อเดียวกัน*

1. สายต่อแยกยาวไม่เกิน 7.5 เมตร

ขนาดกระแสของสายต่อแยก = (1/3) x 228 = 76 A

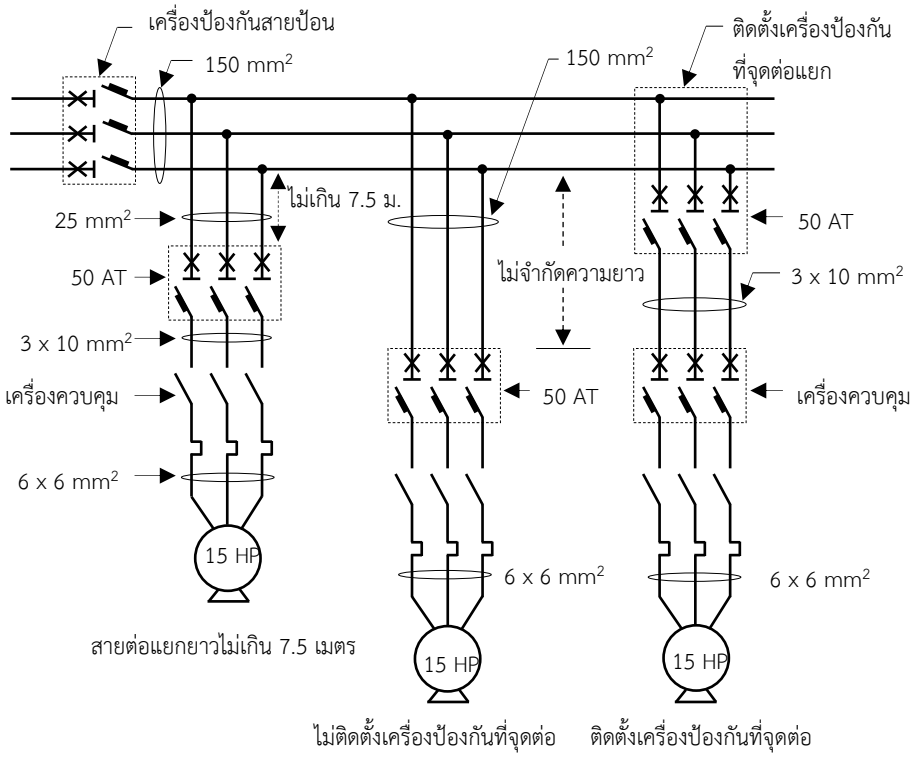
เลือกสายชนิด IEC 01 ขนาด 25 mm^2 (77A)

2. สายต่อแยกไม่จำกัดความยาวและไม่ติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรที่จุดต่อแยก

เลือกขนาดสายต่อแยก = ขนาดสายป้อน

3. สายต่อแยกไม่จำกัดความยาวและติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรที่จุดต่อแยก

เลือกสายชนิด IEC 01 ขนาด 10 mm^2



13. วงจรสายป้อนประกอบด้วยอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส 400 V จำนวน 3 ตัว ขนาด 7.5 HP, 10 HP เดินแบบ Direct on Line Starting และขนาด 125 HP เดินแบบ Star–delta Starting ตามลำดับ จงหาค่าต่างๆ ของวงจรย่อยและสายป้อน กำหนดให้ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

<u>วงจรย่อยมอเตอร์</u>

มอเตอร์ขนาด 7.5 HP

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 x 11 ≥ 13.75 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 2.5 x 11 = 27.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 25 AT

พิกัดเครื่องควบคุม kW (Contactor) ≥ kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 5.5 kW

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน = 11 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 10 – 14 A และใช้สายดินขนาด 2.5 mm^2

ขนาดท่อโลหะ 15 mm (1/2 นิ้ว)

มอเตอร์ขนาด 10 HP

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 x 15 ≥ 18.75 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 4 mm^2 (24 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 2.5 x 15 = 37.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 32 AT

พิกัดเครื่องควบคุม kW (Contactor) ≥ kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 7.5 kW

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพื่อหาสายดิน = 15 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 13 – 19 A และสายดินขนาด 2.5 mm^2

ขนาดท่อโลหะ 20 mm. (3/4 นิ้ว)

มอเตอร์ขนาด 125 HP

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 162 ≥ 203 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 120 mm^2 (208 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (162/√3) ≥ 117 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 2 (3 x 50 mm^2) (117 A) *ร้อยสายแยกท่อ*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 2.5 x 162 = 405 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 350 AT

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 55 kW

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพื่อหาสายดิน = 162 A

ใช้สายดินขนาด 16 mm^2

พิกัดหรือขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 162/√3 = 93.53 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 80 – 110 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 65 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 2 ท่อ x 50 mm

<u>วงจรสายป้อนมอเตอร์</u>

ขนาดกระแสของสายป้อนมอเตอร์ $I_F \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum I_M$

$I_F \geq 1.25 \times 162 + 15 + 11 \geq 229$ A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 185 mm^2 (258 A) สายนิวทรัลขนาด 95 mm^2 (50 %)

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อน $I_{CB,F} = I_{CB,MAX} + \sum I_M$

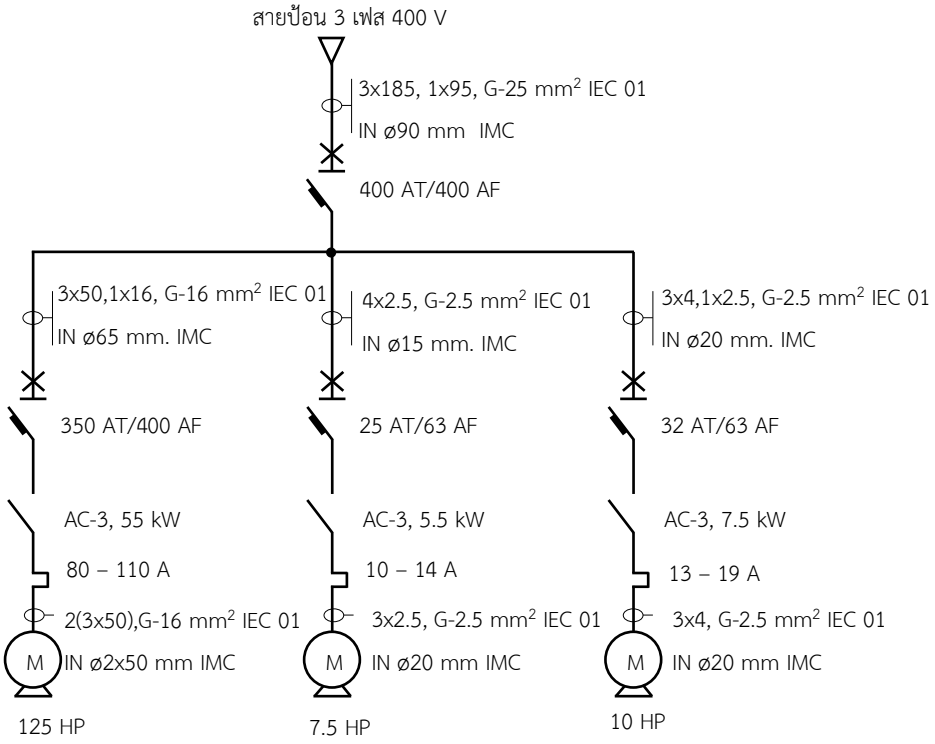
$I_{CB,F} = 350 + 15 + 11 = 376$ A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 400 AT

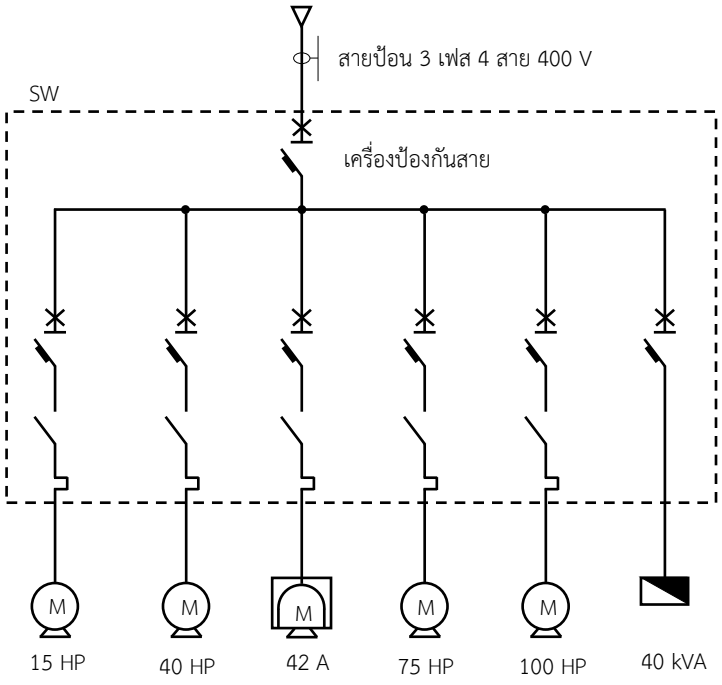
ใช้สายดินขนาด 25 mm^2 (ตารางที่ 5.2)

ขนาดท่อโลหะ 90 mm. (3 1/2 นิ้ว)

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



14. วงจรสายป้อน 3 เฟส 4 สาย 230/400 V จ่ายไฟให้กับโหลดดังในรูปด้านล่างนี้ จงกำหนดขนาดพิกัดต่างๆ ของวงจรย่อยและสายป้อนมอเตอร์ พร้อมกำหนดขนาดท่อ กำหนดให้ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะหนาปานกลางเกาะผนัง (โหลดอื่น ๆ 40 kVA เป็นโหลดต่อเนื่องและคิดค่าดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว)



วิธีทำ

วงจรย่อยมอเตอร์

มอเตอร์ขนาด 100 HP

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 131 ≥ 163.75 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 95 mm^2 (180 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (131/√3) ≥ 94.54 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 2 (3 x 35 mm^2) (96 A) *ร้อยสายแยกท่อ*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 2.5 x 131 = 327.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 320 AT

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 45 kW

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพื่อหาสายดิน = 131 A

ใช้สายดินขนาด 16 mm^2

พิกัดหรือขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 131/√3 = 75.63A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 65 – 90 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 65 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 2 ท่อ x 40 mm

มอเตอร์ขนาด 75 HP

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 100 ≥ 125 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 70 mm^2 (149 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (100/√3) ≥ 72.17 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 2 (3 x 25 mm^2) (77 A) *ร้อยสายแยกท่อ*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 2.5 x 100 = 250 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 200 AT

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 37 kW

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพื่อหาสายดิน = 100 A

ใช้สายดินขนาด 10 mm^2

พิกัดหรือขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 100/√3 = 57.74 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 60 – 80 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 50 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 2 ท่อ x 32 mm

มอเตอร์ขนาด 40 HP

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 57 ≥ 59.85 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 25 mm^2 (77 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (57/√3) ≥ 41.14 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 2 (3 x 16 mm^2) (59 A) *ร้อยสายแยกท่อ*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 2.5 x 57 = 142.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 100 AT

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 18.5 kW

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพื่อหาสายดิน = 57 A

ใช้สายดินขนาด 6 mm^2

พิกัดหรือขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 57/√3 = 32.91 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 28 – 42 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 32 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 2 ท่อ x 25 mm

มอเตอร์ขนาด 15 HP

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 21 ≥ 26.25 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 6 mm^2 (31 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (21/√3) ≥ 15.16 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 6 x 4 mm^2) (24 A) *ร้อยสายในท่อเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 2.5 x 21 = 52.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 32 AT

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 7.5 kW

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพื่อหาสายดิน = 21 A

ใช้สายดินขนาด 4 mm^2

พิกัดหรือขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 21/√3 = 12.13A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 12 – 16 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 20 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 20 mm

มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบปิดผนึก

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 42 ≥ 52.5 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 16 mm^2 (59 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (42/√3) ≥ 30.31 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 6 x 10 mm^2 (44 A) *ร้อยสายในท่อเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ = 1.75 x 42 = 73.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 63 AT

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 18.5 kW

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพื่อหาสายดิน = 42 A

ใช้สายดินขนาด 6 mm^2

พิกัดหรือขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 42/√3 = 24.25 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 22 – 32 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 25 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 32 mm

โหลดอื่นๆ 40 kVA ,400 V, 3 เฟส 4 สาย

$$\text{หากระแสโหลด (} I_L \text{) } = \frac{40 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 57.74 \text{ A}$$

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (In) ≥ 1.25 x 57.74 ≥ 72.18 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาด 80 AT

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 25 mm^2 (77 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายเส้นไฟ

ใช้สายดินขนาด 10 mm^2 และขนาดท่อโลหะ 40 mm

<u>วงจรสายป้อน</u>

ขนาดกระแสของสายป้อน $I_F \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum I_M + 1.25 I_L$

$I_F \geq 1.25 \times 131 + 100 + 57 + 21 + 42 + 1.25 \times 57.74 = 456$ A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 2 (3 x 185 mm^2) (301 A) สายนิวทรัลขนาด 1 x 185 mm^2 (50 %)

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อน

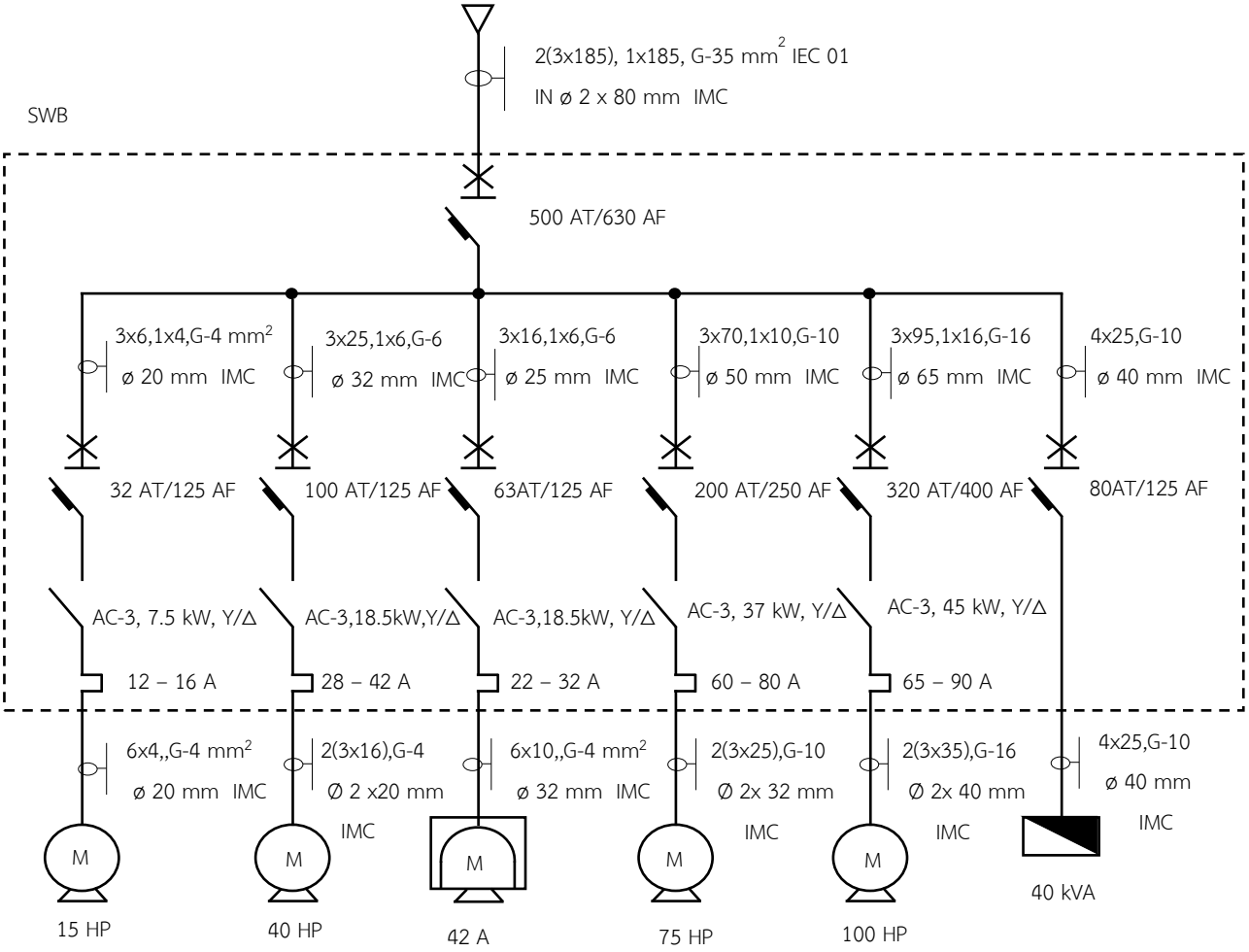
$I_{CB,F} = I_{CB,MAX} + \sum I_M + 1.25 I_L$

$I_{CB,F} = 320 + 100 + 57 + 21 + 42 + 1.25 \times 57.74 = 612$ A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 500 AT

ใช้สายดินขนาด 35 mm^2 ขนาดท่อโลหะ 2 ท่อๆ ละ ø 80 mm

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้


2(3x185), 1x185, G-35 mm² IEC 01
IN ø 2 x 80 mm IMC
SWB
500 AT/630 AF
3x6,1x4,G-4 mm²
ø 20 mm IMC
3x25,1x6,G-6
ø 32 mm IMC
3x16,1x6,G-6
ø 25 mm IMC
3x70,1x10,G-10
ø 50 mm IMC
3x95,1x16,G-16
ø 65 mm IMC
4x25,G-10
ø 40 mm IMC
32 AT/125 AF
100 AT/125 AF
63AT/125 AF
200 AT/250 AF
320 AT/400 AF
80AT/125 AF
AC-3, 7.5 kW, Y/Δ
12 – 16 A
AC-3,18.5kW,Y/Δ
28 – 42 A
AC-3,18.5kW, Y/Δ
22 – 32 A
AC-3, 37 kW, Y/Δ
60 – 80 A
AC-3, 45 kW, Y/Δ
65 – 90 A
6x4,,G-4 mm²
ø 20 mm IMC
2(3x16),G-4
Ø 2 x20 mm
IMC
6x10,,G-4 mm²
ø 32 mm IMC
2(3x25),G-10
Ø 2x 32 mm
IMC
2(3x35),G-16
Ø 2x 40 mm
IMC
4x25,G-10
ø 40 mm
IMC
M
15 HP
M
40 HP
M
42 A
M
75 HP
M
100 HP
40 kVA

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 8 หม้อแปลงไฟฟ้า

1. หม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของฉนวนไฟฟ้าออกได้เป็นกี่ชนิด แต่ละชนิดมีข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ หม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของฉนวนไฟฟ้าออกได้เป็น 4 ชนิดแต่ละชนิดมีข้อกำหนด คือ

1. หม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type transformer) นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก เนื่องจากให้ความปลอดภัยสูงในด้านเกิดเพลิงไหม้ เพราะไม่มีส่วนที่ติดไฟ ไม่มีก๊าซพิษและอันตรายที่เกิดจากสารไวไฟ หม้อแปลงชนิดแห้งมีทั้งชนิดที่เป็นฉนวนเรซินแห้ง (cast-rasin) และฉนวนอากาศ (air-cooled) ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำก๊าซบางชนิดมาใช้ เช่น SF_6 การระบายความร้อนจะระบายความร้อนโดยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ ใช้สัญลักษณ์ AN (air cooled) และระบายความร้อนโดยวิธีอัดอากาศหรือเป่าลมช่วย ใช้สัญลักษณ์ AF (force air) สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคารมีข้อกำหนดดังนี้

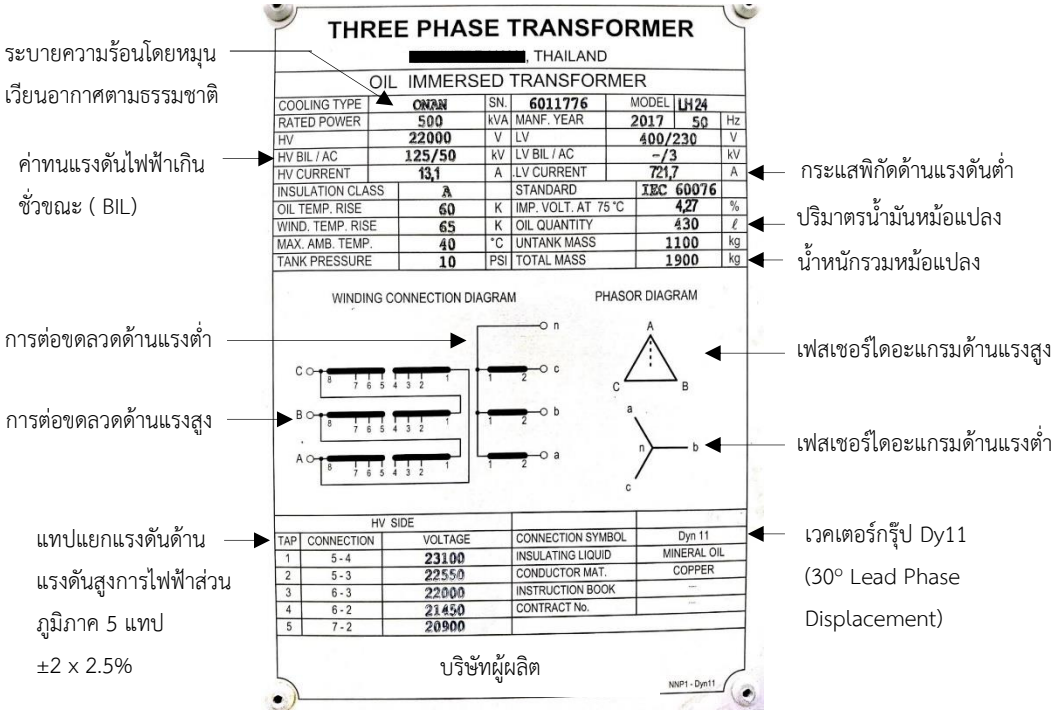
ก) ติดตั้งภายในอาคาร หม้อแปลงแรงดันไม่เกิน 33 kV ขนาดไม่เกิน 112.5 kVA ต้องติดตั้งห่างจากวัสดุติดไฟได้ไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร หรือกั้นด้วยแผ่นกั้นความร้อน หรือหม้อแปลงอยู่ในเครื่องห่อหุ้มที่ปิดส่วนที่มีไฟฟ้าไว้อย่างมิดชิด การติดตั้งไม่บังคับให้อยู่ในห้องหม้อแปลงหม้อแปลง แต่สำหรับหม้อแปลงขนาดเกิน 112.5 kVA ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง *ยกเว้น* หม้อแปลงมีระบบอุณหภูมิของฉนวน (insulation system temperature) 150 ° C หรือสูงกว่า และกั้นไว้ด้วยแผ่นกั้นความร้อน หรือติดตั้งห่างจากวัสดุที่ติดไฟได้ในแนวระดับไม่น้อยกว่า 1.80 เมตร และในแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 3.60 เมตร หรือหม้อแปลงอยู่ในเครื่องห่อหุ้มที่ปิดส่วนที่มีไฟฟ้าไว้อย่างมิดชิด

ข) ติดตั้งภายนอกอาคาร หม้อแปลงติดตั้งภายนอกอาคารต้องมีเครื่องห่อหุ้มที่ทนสภาพอากาศหม้อแปลงที่มีขนาดเกิน 112.5 kVA ต้องติดตั้งห่างจากวัสดุติดไฟได้ไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

2. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (flammable liquid-insulated transformer) ฉนวนที่ใช้กันโดยทั่วไปคือน้ำมันซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีและทำหน้าที่ระบายความร้อนจากขดลวดไปยังตัวถัง ข้อดีของน้ำมันคือราคาถูกเมื่อเทียบกับฉนวนชนิดอื่น การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อเสียที่ติดไฟได้และอาจเกิดการรั่วไหลได้ การระบายความร้อนจะระบายความร้อนโดยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ ใช้สัญลักษณ์ ONAN (oil immersed air cooled) ดังรูปด้านล่าง และระบายความร้อนโดยวิธีอัดอากาศหรือเป่าลมช่วย ใช้สัญลักษณ์ ONAF (oil immersed force air) นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพราะราคาถูกและมีผู้ผลิตหลายรายในประเทศ แบ่งออกเป็นแบบที่ถังพักน้ำมัน (conservator) เป็นชนิดดั้งเดิมซึ่งมีสารดูดความชื้นที่เรียกว่า ซิลิก้าเจล และแบบปิดผนึก (sealed tank) เป็นชนิดที่นิยมใช้ในปัจจุบันตัวถังปิดสนิท ไม่ต้องมีชุดกรองความชื้น หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้นี้สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคารมีข้อกำหนดดังนี้

ก) ติดตั้งภายในอาคาร ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง *<u>ยกเว้น</u>* หม้อแปลงใช้กับเตาหลอมไฟฟ้ามีขนาดไม่เกิน 75 kVA หากไม่อยู่ในห้องหม้อแปลงต้องมีรั้วล้อมรอบ และระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับรั้วต้องไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร

ข) ติดตั้งภายนอกอาคาร หากติดตั้งหม้อแปลงใกล้วัสดุหรืออาคารที่ติดไฟได้หรือติดตั้งใกล้ทางหนีไฟ ประตู หรือหน้าต่าง ควรมีการปิดกั้นเพื่อป้องกันไฟที่เกิดจากของเหลวของหม้อแปลงลุกลามไปติดอาคารหรือส่วนของอาคารที่ติดไฟ ส่วนที่มีไฟฟ้าด้านแรงสูงต้องอยู่ห่างจากโครงสร้างอื่นไม่น้อยกว่า 1.80 เมตร



รูปตัวอย่างแผ่นป้ายหม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ ระบายความร้อนโดยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ สัญลักษณ์ ONAN (oil immersed air cooled)

3. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (*less-flammable liquid-insulated transformers*) คือ หม้อแปลงที่บรรจุด้วยฉนวนของเหลวที่มีจุดติดไฟ (fire point) ไม่ต่ำกว่า 300 °C และฉนวนของเหลวต้องเป็นชนิดที่ไม่เป็นพิษต่อคนและสิ่งแวดล้อม (non-toxic) ปัจจุบันมีใช้ไม่มากนัก และยังไม่เหมาะที่จะใช้ภายในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก แต่ก็ให้ความปลอดภัยสูงกว่าหม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมัน สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคารมีข้อกำหนดดังนี้

ก) ติดตั้งภายในอาคาร หากอาคารที่ติดตั้งเป็นอาคารที่ติดไฟได้หรือมีวัสดุติดไฟได้ในพื้นที่ที่ติดตั้งหม้อแปลง หม้อแปลงต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง หรือต้องมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ และมีการกั้นเก็บของเหลวที่อาจไหลออกมา หากอาคารที่ติดตั้งไม่ติดไฟตาม Type I และ Type II ตาม NFPA 220-1985 หรือเทียบเท่า และไม่มีวัสดุที่ติดไฟได้ในพื้นที่ที่ติดตั้งหม้อแปลง ไม่ต้องมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติก็ได้

ข) ติดตั้งภายนอกอาคาร หม้อแปลงติดตั้งภายนอกอาคารให้ใช้เกณฑ์เดียวกับหม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้ภายนอกอาคาร

4. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ

หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (nonflammable fluid-insulated transformer) หม้อแปลงชนิดนี้ยอมให้ติดตั้งได้ภายในและภายนอกอาคาร ถ้าติดตั้งภายในอาคารต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง ปัจจุบันมีใช้งานน้อยและมีราคาแพง ในการนำฉนวนของเหลวไม่ติดไฟมาใช้ต้องระวังเรื่องการเป็นพิษต่อบุคคลด้วย ฉนวนที่ใช้อาจเป็นน้ำมันหรือไม่ก็ได้ เดิมได้มีการนำฉนวนชนิดหนึ่งมาใช้เรียกว่า อาซคาเรล แต่ปัจจุบันเลิกใช้เนื่องจากพบว่าเป็นพิษต่อบุคคล

2. ค่าทนแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของหม้อแปลง (BIL) หมายถึงอะไร

ตอบ ค่าทนแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (basic impulse insulation level ; BIL) หมายถึง ความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าของฉนวนหม้อแปลง ปกติจะเกิดจากฟ้าผ่า ถ้าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะมีค่าเกิน BIL ฉนวนของหม้อแปลงจะชำรุดและใช้งานต่อไม่ได้ หม้อแปลงจะต้องผ่านการทดสอบ BIL เพื่อทดสอบถึงความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าก่อนที่จะนำมาใช้งาน หม้อแปลงที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นหม้อแปลงที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC โดยกำหนดค่า BIL ไว้ตามที่แสดงในตารางด้านล่าง โดยที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าแต่ละค่าจะมีค่า BIL ให้เลือกใช้หลายค่าตามความเหมาะสม

ตารางค่าทนแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (BIL) ของหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC

แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (kV)	3.6	12	22, 24	33, 36
BIL (kV)	20, 40	60, 75, 95	95, 125, 145	145, 175

3. แทปแยกแรงดันของหม้อแปลงหมายถึงอะไร มีข้อกำหนดของการปรับตั้งของ กฟภ. และ กฟน. ไว้อย่างไร

ตอบ แทปแยกแรงดัน (Tap Changer) หมายถึง อุปกรณ์เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกให้คงที่ การปรับแทปแยกแรงดันนิยมปรับทางด้านไฟเข้า (แรงสูง) โดยการแทปแยกขดลวดด้านแรงสูง เนื่องจากทำง่ายและประหยัดกว่า ค่าแทปแยกมีข้อกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันด้านไฟเข้า (rate primary voltage) ไว้ดังนี้

1.การไฟฟ้านครหลวง แรงดันระบบจำหน่าย 12 kV หรือ 24 kV และแรงดันใช้งาน 240/416 V, 3 เฟส 4 สาย กำหนดการแทปแยกไว้เป็น -4 x 2.5 % ของแรงดันด้านไฟเข้า ซึ่งหมายถึงมีการแทปค่าลง 4 ระดับ ๆ ละ 2.5 % ดังแสดงตารางด้านล่าง

ตารางมาตรฐานแทปแยกแรงดันหม้อแปลงของการไฟฟ้านครหลวง -4 × 2.5 %

ตำแหน่งแทปแยก	แรงดันไฟฟ้าไฟเข้า (V)	แรงดันไฟฟ้าไฟออก (V)	อัตราส่วน	เปอร์เซ็นต์
แทปที่ 1	24,000	416	57.67	0
แทปที่ 2	23,400	416	56.25	-2.5
แทปที่ 3	22,800	416	54.81	-5
แทปที่ 4	22,200	416	53.37	-7.5
แทปที่ 5	21,600	416	51.92	-10

2. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แรงดันระบบจำหน่าย 22 kV หรือ 33 kV และแรงดันใช้งาน 230/400V, 3 เฟส 4 สาย กำหนดแทปเป็น ± 2 x 2.5 % ของแรงดันด้านไฟเข้า ซึ่งหมายถึงมีการแทปค่าสูงขึ้นและลดลงอย่างละ 2 ระดับ ระดับละ 2.5 % ดังแสดงตารางด้านล่าง

ตารางมาตรฐานแทปแยกแรงดันหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ± 2 x 2.5 %

ตำแหน่งแทปแยก	แรงดันไฟฟ้าไฟเข้า (V)	แรงดันไฟฟ้าไฟออก (V)	อัตราส่วน	เปอร์เซ็นต์
แทปที่ 1	23,100	400	57.75	+5
แทปที่ 2	22,550	400	56.25	+2.5
แทปที่ 3	22,000	400	55	0
แทปที่ 4	21,450	400	53.625	-2.5
แทปที่ 5	20,900	400	52.25	-5

4. หม้อแปลงระบบแรงดันไฟฟ้า 22 kV/230–400 V ในเขต กฟภ. จะนำไปใช้งานในเขตจ่ายไฟของ กฟน. ที่เป็นระบบแรงดันไฟฟ้า 24 kV/240–416V ได้หรือไม่ อย่างไร

ตอบ ในทางปฏิบัติไม่สามารถนำหม้อแปลงไฟฟ้าในเขต กฟภ. 22 kV มาใช้งานในเขต กฟน. 24 kV ได้ เนื่องจากมาตรฐานแทปแยกแรงดันหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแทปที่ 1 (สูงสุด) ไม่สามารถรับแรงดันขนาด 24 kV ได้ ถึงแม้ปกติหม้อแปลงทั้งสองระบบต่างออกแบบที่ระดับแรงดันเดียวกัน คือที่ 24 kV ค่าทนแรงดัน BIL 125 kV เท่ากัน และใช้ค่าทดสอบแรงดันเดียวกันก็ตาม

5. กำลังสูญเสียทางไฟฟ้าของหม้อแปลงมีกี่ส่วน แต่ละส่วนเกิดขึ้นได้อย่างไร

ตอบ กำลังสูญเสีย (Power Loss) ของหม้อแปลงอยู่ 2 ส่วน และแต่ละส่วนเกิดขึ้นได้ ดังนี้

1. กำลังสูญเสียไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (Core Loss) เมื่อใช้งานหม้อแปลงที่แรงดันพิกัด โดยที่ด้านไฟออกเปิดวงจรไว้ สาเหตุการสูญเสียเกิดจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Loss) ซึ่งค่า No Load Loss นี้มีค่าคงที่ ที่แรงดันพิกัดและความถี่พิกัด

2. กำลังสูญเสียไฟฟ้ามีโหลด (Load Loss) คือ กำลังสูญเสียในขดลวด (Copper Loss) ของหม้อแปลง เมื่อต่อโหลดเข้ากับด้านไฟออก กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเนื่องจากความต้านทานในขดลวด ซึ่งค่า Load Loss นี้จะแปรตาม I^2R

6. ค่าแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงคืออะไร และสัมพันธ์กับค่าพิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุดของหม้อแปลงได้อย่างไร

ตอบ ค่าแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ (Impedance Voltage) ของหม้อแปลง คือค่าแรงดันที่ต้องการด้านแรงสูงที่ทำให้กระแสทางด้านแรงต่ำไหลเต็มพิกัดขณะลัดวงจรด้านแรงต่ำ โดยปกติจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันพิกัด (Rated Voltage) เช่น หม้อแปลงที่มีแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ 6 % หมายถึงถ้าเกิดลัดวงจรด้านแรงต่ำของหม้อแปลงแล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงสูงแค่ 6 % ของแรงดันไฟฟ้าพิกัด (Rated Voltage) จะมีกระแสไหลทางด้านแรงต่ำเต็มพิกัด 100 % นั่นก็คืออิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงมีค่า 6 % หรือ 0.06 PU ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์รวมของขดลวดทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ

ค่าอิมพีแดนซ์นี้จะความสัมพันธ์กับค่าพิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ขั้วทางด้านแรงต่ำ (Infinite Bus) คือคิดว่าระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่มาก ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ขั้วทางด้านแรงต่ำโดยประมาณจะเท่ากับกระแสโหลดเต็มพิกัดของหม้อแปลงหารด้วยค่าอิมพีแดนซ์ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการเลือกขนาดพิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Icu)

7. เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลงหมายถึงอะไร สามารถแบ่งได้กี่กลุ่ม อะไรบ้าง อย่างไร

ตอบ เวคเตอร์กรุ๊ป (Vector Group) ของหม้อแปลง หมายถึง วิธีการต่อกลุ่มของขดลวดภายในหม้อแปลง 3 เฟส โดยบ่งชี้ถึงการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ระหว่างขดลวดด้านแรงสูงและแรงต่ำ กล่าวคือเมื่อเราวัดแรงดันที่ขั้วของหม้อแปลงชนิด 1 เฟส เทียบกันจะไม่เกิดมุมต่างเฟส (Phase Angle Different) ระหว่างขดลวดแรงสูงกับแรงต่ำ แต่สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส สามารถเลือกต่อขดลวดภายในหม้อแปลงทำให้เกิดมุมต่างเฟสด้านแรงสูงและแรงต่ำได้หลายรูปแบบ สามารถแบ่งได้ 4 รูปแบบหรือ 4 กลุ่ม คือ

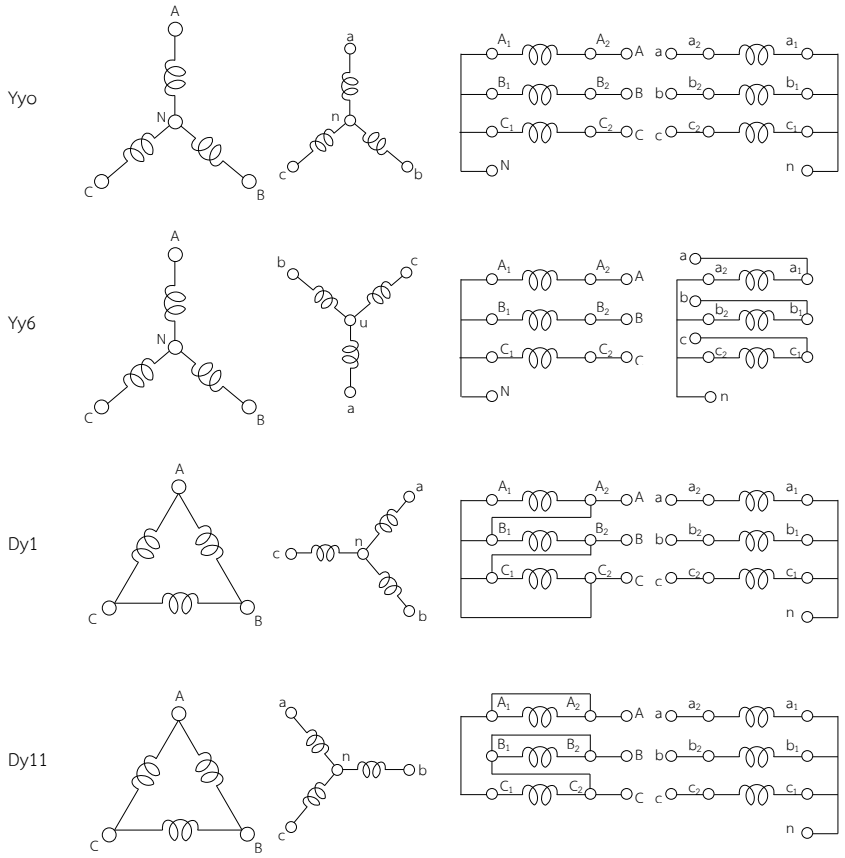
กลุ่ม 1 : Zero Phase Displacement ได้แก่ Yy0 , Dd0 , Dz0

กลุ่ม 2 : 180° Phase Displacement ได้แก่ Yy6 , Dd6 , Dz6

กลุ่ม 3 : 30° Lag Phase Displacement ได้แก่ Dy1 ,Yd1 ,Yz1

กลุ่ม 4 : 30° Lead Phase Displacement ได้แก่ Dy11 ,Yd11 ,Yz11

โดยทั่วไปที่นิยมใช้ได้แก่ Yy0, Yy6, Dy1, Dy11 เป็นต้น ดังรูปด้านล่าง



รูปตัวอย่างการต่อขดลวดตาม Vector Group ต่างๆ

จำนวนตัวเลขการจัดเฟส (Phase Displacement) จะเขียนแทนด้วยตัวเลขตามหน้าปัดนาฬิกา คือ 0 ถึง 11 นาฬิกา แสดงถึงค่ามุมต่างกันด้วยตัวเลขละ 30 องศา ตัวอย่างเช่น Dy11 มีค่าตัวเลข 11 ดังนั้นเฟสแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำตามหลังเฟสของแรงดันไฟฟ้าแรงสูงอยู่ 11 x 30° = 330° หรือเฟสแรงดันไฟฟ้าแรงสูงนำหน้าเฟสของแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำอยู่ 360° - 330° = 30°(Lead Phase Displacement) เป็นต้น

8. สถานประกอบการแห่งหนึ่งตั้งอยู่ในเขตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีโหลดตามที่แสดงข้างล่างนี้จงคำนวณหาขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า

8.1 โหลดแสงสว่างรวม 40 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ 80%

8.2 โหลดเต้ารับใช้งานทั่วไป 25 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ 100%

8.3 โหลดเครื่องปรับอากาศ 60 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ 100%

8.4 โหลดเครื่องจักร 150 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ 80%

8.5 โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 25 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ 70%

<u>วิธีทำ</u>

หาการแสโหลดโดยใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ ได้ดังนี้

$$\text{โหลดแสงสว่าง} = \frac{40 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} \times 0.8 = 46 \text{ A}$$

$$\text{โหลดเต้ารับใช้งานทั่วไป} = \frac{25 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} \times 1.0 = 36 \text{ A}$$

$$\text{โหลดเครื่องปรับอากาศ} = \frac{60 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} \times 1.0 = 87 \text{ A}$$

$$\text{โหลดเครื่องจักร} = \frac{150 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} \times 0.8 = 173 \text{ A}$$

$$\text{โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ} = \frac{25 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} \times 0.7 = 25 \text{ A}$$

รวมการแสโหลดเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว 46 + 36 + 87 + 173 + 25 = 367 A

$$kVA_{TR} \geq \frac{\sqrt{3} \text{ x } V \text{ x } I_{LOAD} \text{ x } 1.2}{1{,}000}$$

$$\geq \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 367 \times 1.2}{1{,}000} \geq 306 \text{ kVA}$$

เลือกใช้ขนาดพิกัดหม้อแปลง 315 kVA

9. สถานประกอบการแห่งหนึ่งอยู่ในเขตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค คำนวณโหลดทั้งหมดเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์แล้วเท่ากับ 950 kVA จงกำหนดหาขนาดพิกัดหม้อแปลง ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และขนาดสายไฟฟ้าทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ

<u>วิธีทำ</u>

ขนาดหม้อแปลง $kVA_{TR} \geq 950 \times 1.2 \geq 1140$ kVA

เลือกใช้ขนาดพิกัดหม้อแปลง 1,250 kVA

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงสูง

$$In \text{ (HV)} = \frac{1{,}250}{\sqrt{3} \times 22} = 32.80 \text{ A}$$

กำหนดขนาดของฟิวส์ที่ 300 % $\leq 3 \times 32.80 \leq 98.4$ A

เลือก HRC Fuse ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตได้ขนาดขนาด 80 A 24 kV, IC ≥ 40 kA

ขนาดสายไฟฟ้าด้านแรงสูง

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า I_C = 1.25 x 32.80 = 41 A

เลือกสาย Space Aerial Cable (SAC) เดินเหนือดินขนาด 3 x 35 mm^2 (149 A) G–35 mm^2

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำ

$$In\,(\text{LV}) = \frac{1{,}250}{\sqrt{3} \times 0.4} \quad 1{,}804 \text{ A}$$

กำหนดขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ไม่เกิน 100 % ≤ 1,804 A

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตได้ขนาด 1,600 AT/2,000 AF, IC ≥ 42 kA

ขนาดสายไฟฟ้าด้านแรงต่ำ

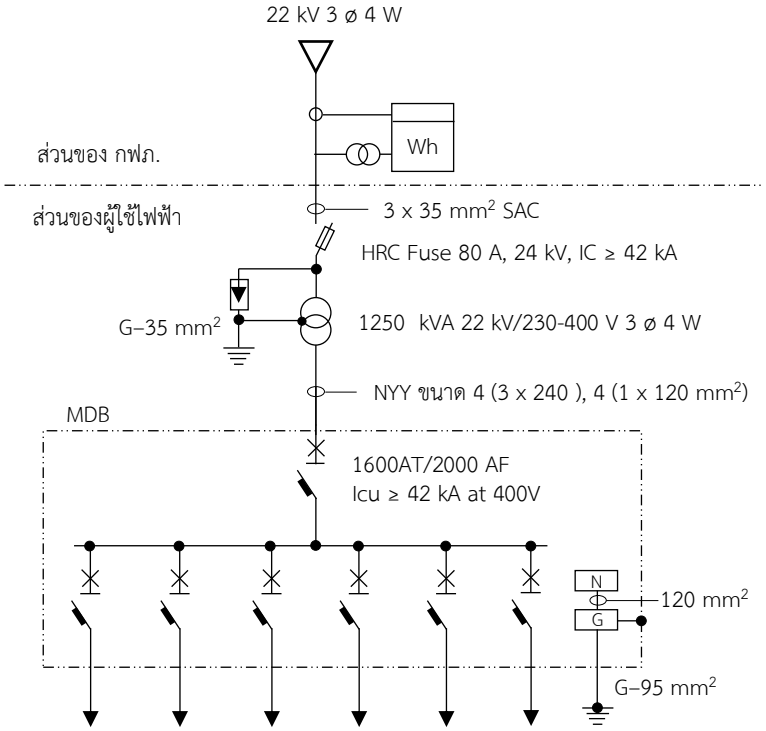
ออกแบบใช้สาย NYY แกนเดียว เดินสายควบ 4 ชุด เดินชิดบนรางเคเบิลแบบบันได

หาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

$$I_t \geq \frac{(1{,}600/4)}{(\ 1.0 \times 0.94\ )} \geq 426 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายเฟส NYY ขนาด 4 (3 x 240 mm^2) (441A) และจากการวิเคราะห์โหลดของสถานประกอบการ โหลด 40 % เป็นโหลดระบบ 3 เฟส จึงเลือกใช้ขนาดสายนิวทรัล 50 % ของสายเส้นเฟส คือขนาด 4 (1 x 120 mm^2) และขนาดสายต่อฝากประธานกำหนด 12.5 % ของสายประธาน (เกิน 500 mm^2) เท่ากับ 0.125 x (4 x 240) = 120 mm^2 (อาจใช้บัสบาร์ก็ได้) ส่วนสายดินขนาด 95 mm^2

สามารถเขียนเป็น Single Line Diagram ได้ดังนี้



10. โรงงานแห่งหนึ่งเลือกใช้หม้อแปลงขนาด 1250 kVA 22 kV/230–400 V จงกำหนดเครื่องป้องกันกระแสเกินและขนาดสายไฟฟ้าทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ กำหนดแรงสูงใช้สาย SAC แรงต่ำใช้สาย NYY แกนเดียวบนรางเคเบิลแบบบันได ทั้งเขต กฟภ. และ กฟน. (22 kV และ 24 kV ตามลำดับ)

<u>วิธีทำ</u>

ในเขต กฟภ.

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงสูง

$$In\,(\text{HV}) \;=\; \frac{1{,}250}{\sqrt{3}\times 22} \;=\; 32.80\ \text{A}$$

เลือก HRC Fuse ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตได้ขนาดขนาด 80 A 24 kV, IC ≥ 40 kA

ขนาดสายไฟฟ้าด้านแรงสูง

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า I_C = 1.25 x 32.80 = 41 A

เลือกสาย Space Aerial Cable (SAC) เดินเหนือดินขนาด 3 x 35 mm^2 (149 A) G–35 mm^2

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำ

$$In\,(\text{LV}) \;=\; \frac{1{,}250}{\sqrt{3}\times 0.4} \quad 1{,}804\ \text{A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตได้ขนาด 1,600 AT/2,000 AF, IC ≥ 42 kA

ขนาดสายไฟฟ้าด้านแรงต่ำ

กำหนดเพิ่มเติมจากโจทย์<u>เดินสายควบ 4 ชุด เดินวางห่าง</u> บนรางเคเบิลแบบบันได

หาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

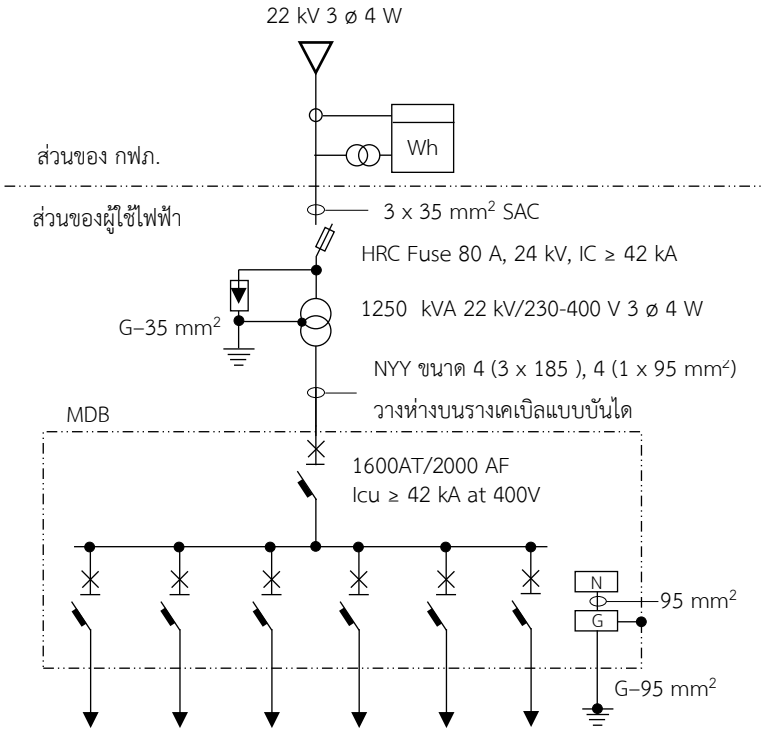
$$I_t \geq \frac{(1{,}600/4)}{(1.0 \times 0.94)} \geq 426 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายเฟส NYY ขนาด 4 (3 x 185 mm^2) (453 A)

ใช้ขนาดสายนิวทรัล 1 x 95 mm^2 (โหลด 40 % เป็นโหลดระบบ 3 เฟส)

ขนาดสายต่อฝากประธาน = 95 mm^2 สายดินขนาด 95 mm^2

สามารถเขียนเป็น Single Line Diagram ได้ดังนี้



ในเขต กฟน.

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงสูง

$$In\,(\text{HV}) = \frac{1{,}250}{\sqrt{3} \times 24} = 30.07 \text{ A}$$

เลือก HRC Fuse ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตได้ขนาดขนาด 80 A 24 kV, IC ≥ 40 kA

ขนาดสายไฟฟ้าด้านแรงสูง

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า I_C = 1.25 x 30.07 = 37.59 A

เลือกสาย Space Aerial Cable (SAC) เดินเหนือดินขนาด 3 x 35 mm^2 (149 A) G–35 mm^2

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินแรงต่ำ

$$In\,(\text{LV}) \;=\; \frac{1{,}250}{\sqrt{3}\times 0.416} \;:\; 1{,}735\ \text{A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตได้ขนาด 1,600 AT/2,000 AF, IC ≥ 42 kA

ขนาดสายไฟฟ้าด้านแรงต่ำ

กำหนดเพิ่มเติมจากโจทย์<u>เดินสายควบ 4 ชุด เดินวางห่าง</u> บนรางเคเบิลแบบบันได

หาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

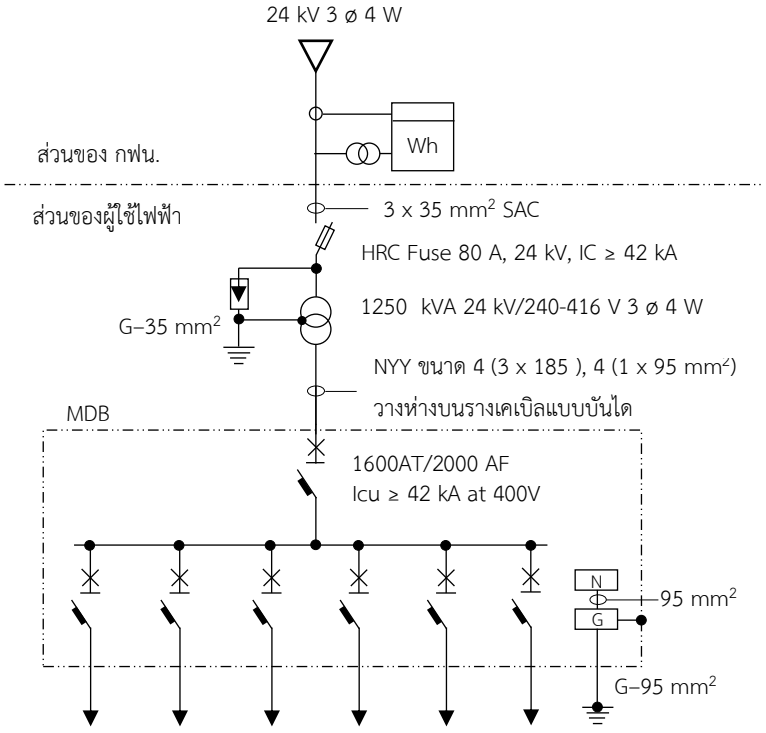
$$I_t \;\geq\; \frac{(1{,}600/4)}{(\ 1.0\times 0.94\ )} \;\geq\; 426\ \text{A}$$

เลือกขนาดสายเฟส NYY ขนาด 4 (3 x 185 mm^2) (453 A)

ใช้ขนาดสายนิวทรัล 1 x 95 mm^2 (โหลด 40 % เป็นโหลดระบบ 3 เฟส)

ขนาดสายต่อฝากประธาน = 95 mm^2 สายดินขนาด 95 mm^2

สามารถเขียนเป็น Single Line Diagram ได้ดังนี้



11. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ ระบบ 22 kV ติดตั้งในห้องหม้อแปลงจำนวน 2 ลูก กำหนด (ก × ย × ส) ขนาด 630 kVA (930 × 1730 × 1800 mm) และ ขนาด 1250 kVA (990 × 1970 × 1910 mm) จงกำหนดหา

11.1 ขนาดห้องหม้อแปลง

11.2 ขนาดช่องระบายอากาศ กรณีหม้อแปลงนี้ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ

11.3 ขนาดความจุพัดลม กรณีหม้อแปลงนี้ใช้ระบายความร้อนด้วยพัดลมดูดอากาศออก

11.4 ขนาดเครื่องปรับอากาศ กรณีหม้อแปลงนี้ใช้ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ

11.5 ขนาดบ่อพักน้ำมัน

<u>วิธีทำ</u>

1. ขนาดห้องหม้อแปลง จากข้อกำหนด

ขนาดห้อง กว้าง = 1,000 + 990 + 1,000 = 2,990 มม.

ยาว = 1,000 + 1,730+ 600 + 1,970+ 1,000 = 6,320 มม.

สูง = 1,910 + 600 = 2,510 มม.

ขนาดห้องหม้อแปลงไม่น้อยกว่า = 2.99 x 6.32 x 2.51 ม.

2. ขนาดช่องระบายอากาศ

พื้นที่ของช่องระบายอากาศแต่ละด้าน (ตร.ม.) ≥ 0.001 x ขนาดหม้อแปง (kVA)

≥ 0.001 x (630 + 1250)

≥ 1.88 ตร.ม.

3. ขนาดความจุพัดลม

ความจุของพัดลมดูดอากาศ (ลบ.ม/นาที) ≥ 8.40 x กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของหม้อแปลง (kW)

≥ 8.40 x (7.7 + 17.3) *จากข้อมูลตารางที่ 8.4*

≥ 210 ลบ.ม/นาที

4. ขนาดเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศ (BTU/h) ≥ 3,412 x กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของหม้อแปลง (kW)

≥ 3,412 x (7.7 + 17.3)

≥ 85,300 BTU/h

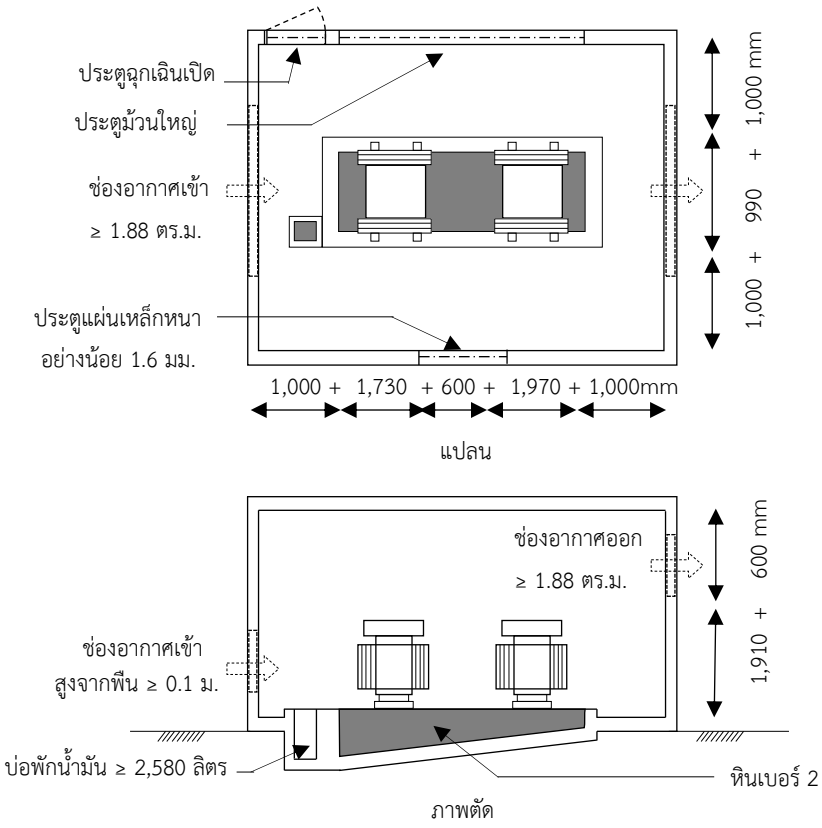
5. ขนาดบ่อพักน้ำมัน

ปริมาตรความจุของบ่อพักน้ำมัน (ลิตร) ≥ 3 x ปริมาตรน้ำมันหม้อแปลงตัวที่มากที่สุด (ลิตร)

≥ 3 x 860 *จากข้อมูลตารางที่ 8.4*

≥ 2,580 (ลิตร) หรือ 2.58 ลบ.ม.

สามารถเขียนแปลนได้ดังนี้

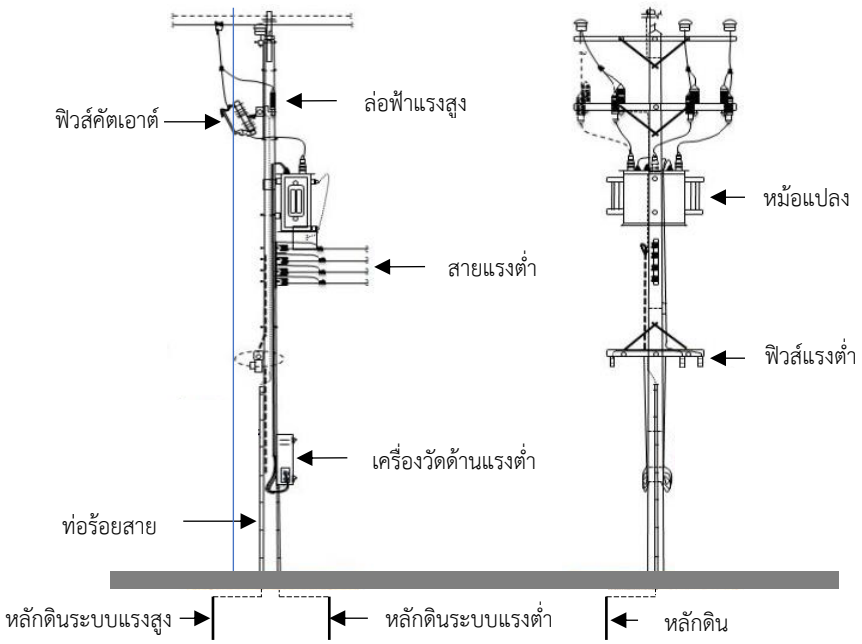


12. การติดตั้งหม้อแปลงภายนอกอาคารสามารถติดตั้งได้กี่รูปแบบ อะไรบ้าง

ตอบ การติดตั้งหม้อแปลงภายนอกอาคาร สามารถติดตั้งได้ 4 แบบคือ

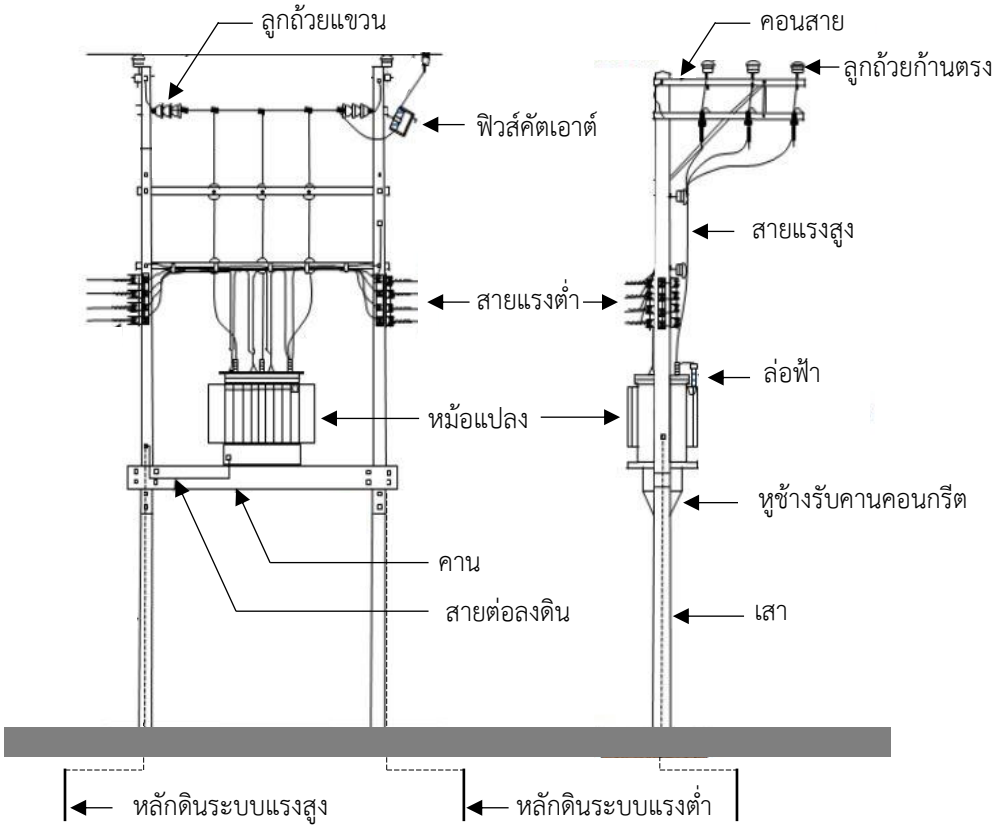
1. ติดตั้งบนเสาและนั่งร้านหม้อแปลง

1) ติดตั้งบนเสา หรือเรียกติดตั้งแบบแขนใช้กับหม้อแปลงทั้งชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส ขนาดตั้งแต่ 10 - 160 kVA ปัจจุบันอาจติดตั้งได้ถึงขนาด 250 kVA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักหม้อแปลงและความแข็งแรงของเสาไฟฟ้า ดังรูปด้านล่าง



รูปการติดตั้งหม้อแปลงแบบแขวน

2) ติดตั้งบนนั่งร้าน คือต้องใช้เสาไฟฟ้ารับน้ำหนักถึง 2 ต้น โดยมีคานเชื่อมถึงกัน และนำหม้อแปลงวางบนคานนี้ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากติดตั้งสะดวกรวดเร็วและประหยัดพื้นที่ สามารถรองรับหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ขนาด 250 – 1500 kVA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดน้ำหนักของหม้อแปลง ขนาดคานและขนากเสารับน้ำหนัก ดังรูปด้านล่าง

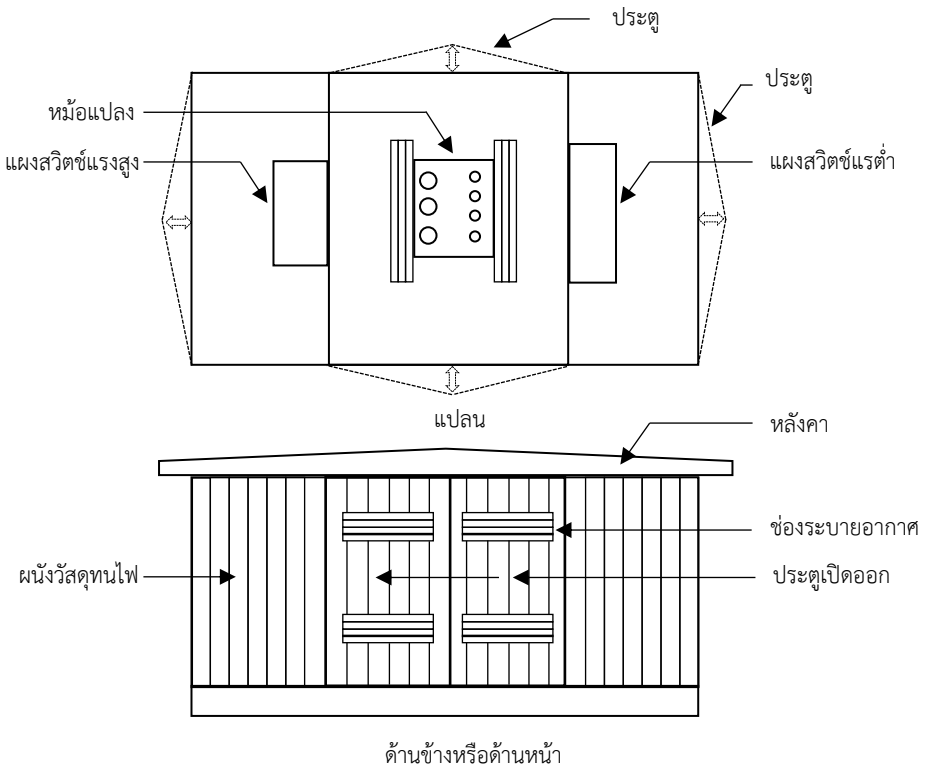


รูปการติดตั้งหม้อแปลงบนนั่งร้าน

2. ติดตั้งบนลานหม้อแปลง (Transformer Yard) เป็นบริเวณหรือพื้นที่สำหรับติดตั้งหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคาร หม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคารต้องอยู่ในที่ล้อมซึ่งอาจเป็นรั้วหรือกำแพงก็ได้ เพื่อให้เข้าได้เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น

3. ติดตั้งยกพื้นสูง หรือที่นิยมติดตั้งหม้อแปลงอยู่บนดาดฟ้าของอาคาร มีข้อกำหนดเช่นเดียวกับการติดตั้งบนลานหม้อแปลงอยู่บนพื้นดิน แต่จะมีข้อกำหนดเพิ่มเติมเฉพาะอยู่บ้าง

4. ติดตั้งในเครื่องห่อหุ้ม โดยปกติการติดตั้งในเครื่องห่อหุ้มจะทำสำเร็จรูปมาจากโรงงาน ซึ่งภายในเครื่องห่อหุ้มอาจประกอบด้วย แผงสวิตช์แรงสูง หม้อแปลง และแผงสวิตช์แรงต่ำ ดังรูปด้านล่าง



รูปตัวอย่างติดตั้งหม้อแปลงในเครื่องห่อหุ้ม

13. การติดตั้งหม้อแปลงบนลานหม้อแปลงมีข้อกำหนดอย่างไรบ้าง

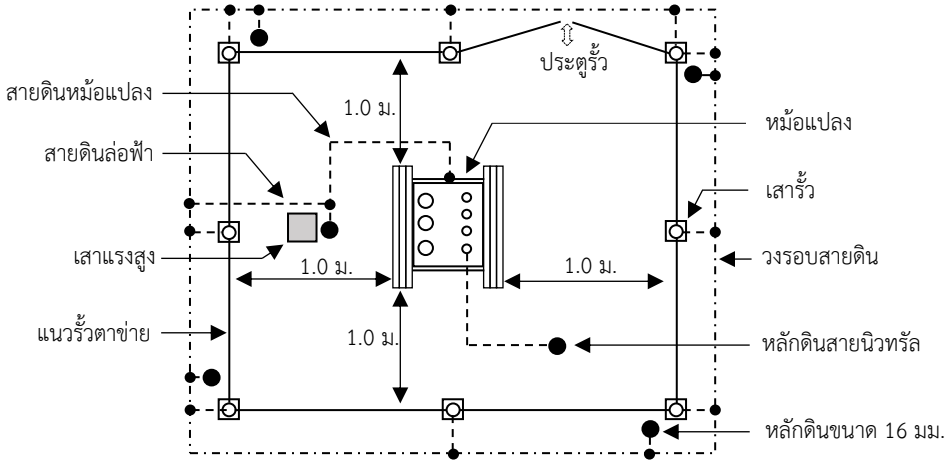
ตอบ ติดตั้งบนลานหม้อแปลง (Transformer Yard) เป็นบริเวณหรือพื้นที่สำหรับติดตั้งหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคาร หม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคารต้องอยู่ในที่ล้อมซึ่งอาจเป็นรั้วหรือกำแพงก็ได้ เพื่อให้เข้าได้เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ดังรูปด้านล่าง มีข้อกำหนดที่สำคัญคือ

1) ส่วนที่มีไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแรงสูงเหนือพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.75 เมตร หรือมีที่กั้นเพื่อป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าโดยไม่ได้ตั้งใจในขณะที่ปฏิบัติงาน

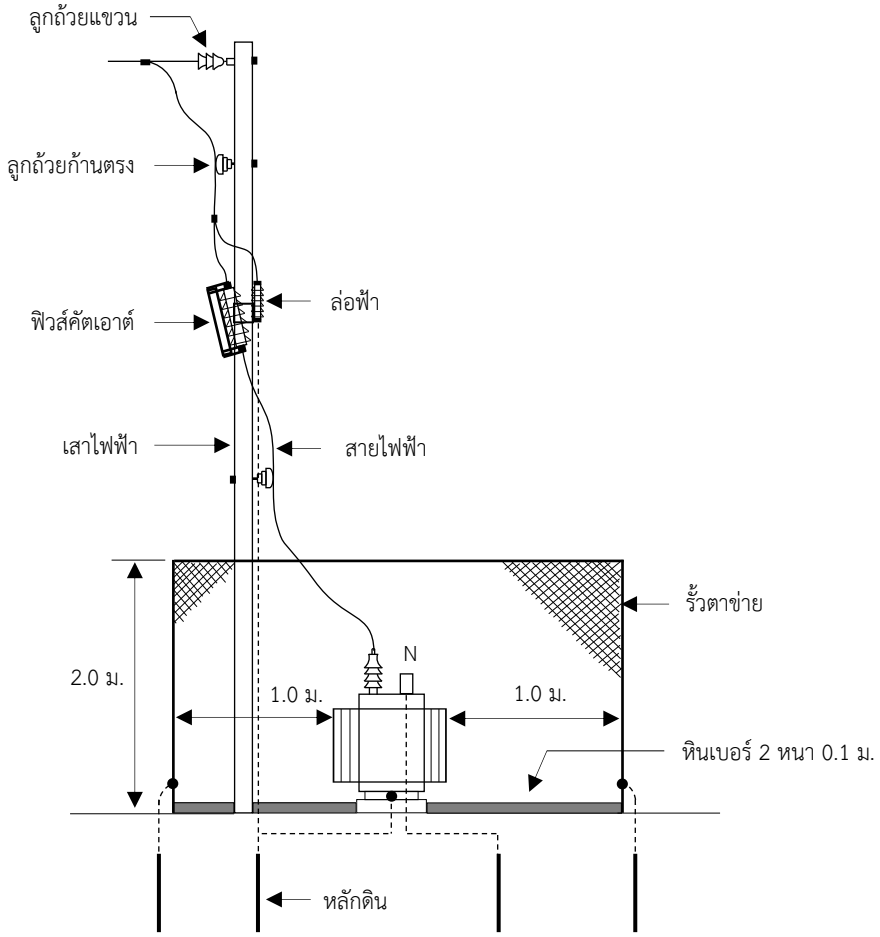
2) ระยะห่างระหว่างรั้วหรือผนังกับส่วนที่มีไฟฟ้าแรงสูงหรือหม้อแปลง หรือระยะห่างระหว่างหม้อแปลงสำหรับแรงดันไม่เกิน 33 kV เป็นไปตามตารางด้านล่าง

ตารางระยะห่างต่ำสุดสำหรับการติดตั้งหม้อแปลงบนลานหม้อแปลง

ระยะห่างระหว่าง	ระยะห่าง (เมตร) แรงดันไม่เกิน 33 kV
รั้วหรือผนังกับส่วนที่มีไฟฟ้าแรงสูง	1.20
รั้วหรือผนังกับหม้อแปลง	1.0
หม้อแปลงกับหม้อแปลง	0.60



แปลน



รูปตัด

รูปการติดตั้งบนลานหม้อแปลง

3) ความสูงของรั้วหรือกำแพง ต้องสูงไม่น้อยกว่า 2.0 เมตร และควรต้องมีแผ่นป้ายหรือสัญลักษณ์เตือนให้ระวังอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูง ติดตั้งไว้ในบริเวณที่เห็นได้ชัดเจน

4) พื้นของลานหม้อแปลง ต้องใส่หินเบอร์ 2 หนาอย่างน้อย 0.1 ม. *ยกเว้น* ส่วนที่ติดตั้งบริภัณฑ์ เพื่อให้น้ำมันหม้อแปลงซึมลงใต้หินเมื่อเกิดรั่ว หรือเมื่อหม้อแปลงระเบิดและเกิดเพลิงไหม้จะทำให้ดับไฟได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 9 การออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคาร

1. การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินและขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อยมีข้อวิธีการอย่างไร

ตอบ การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย มีวิธีการดังนี้

1. หาค่าโหลดวงจรย่อย โดยนำค่าโหลด (VA) ทั้งหมดที่ต่อในวงจรย่อยมารวมกัน ซึ่งห้ามใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์เด็ดขาด

2. คำนวณหาค่าพิกัดกระแสวงจรย่อย โดยทั่วไปเผื่อไว้อีก 25 % เขียนสมการได้ดังนี้

$$I_n = (VA / 230) \times 1.25 \quad \text{....กรณี 1 เฟส}$$

$$I_n = (VA / (\sqrt{3} \times 400)) \times 1.25 \quad \text{....กรณี 3 เฟส}$$

3. นำค่าพิกัดกระแสวงจรย่อย (In) ที่คำนวณได้ไปกำหนดขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินที่มีจำหน่าย ใกล้เคียงที่สูงขึ้น

การหาขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อย มีวิธีการและข้อกำหนดดังนี้

1. สายไฟฟ้าของวงจรย่อยต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ และต้องไม่ต่ำกว่าพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้งาน และต้องไม่เล็กกว่า 2.5 mm^2

$$I_{BC} \geq I_n \geq I_L$$

เมื่อ

I_{BC} = พิกัดกระแสสายไฟฟ้าวงจรย่อย (A)

I_n = พิกัดกระแสเครื่องป้องกันกระแสเกินวงจรย่อย (A)

I_L = พิกัดกระแสโหลดสูงสุดของวงจรย่อย (A)

2. สายไฟฟ้าที่ต่อแยกเข้าเต้ารับจุดเดียวอนุญาตให้ใช้ขนาด 1.5 mm^2 ได้ แต่ต้องมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่ากระแสของโหลดที่ใช้เต้ารับ

3. สายไฟฟ้าที่ต่อแยกเข้าดวงโคมชุดเดียวต้องมีขนาดเล็กกว่า 1.0 mm^2 และมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่ากระแสของดวงโคมนั้น

ข้อแนะนำ สำหรับวงจรย่อยแสงสว่าง 3 เฟส 4 สาย ที่จ่ายโหลด 1 เฟส และเดินร่วมกันในช่องเดินสายเดียวกัน อนุญาตให้ใช้สายนิวทรัลร่วมกันได้ โดยแต่ละเฟสต้องมีโหลดใกล้เคียงกันและขนาดสายต้องไม่เล็กกว่าสายเส้นเฟส

2. จงเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างการคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท. และการคำนวณโหลดโดยการรวมวงจรย่อย

ตอบ การคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท. หมายถึงการคำนวณโหลดที่อนุญาตให้ใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ได้ (ห้ามใช้ดีมานด์แฟกเตอร์กับโหลดวงจรย่อย) ซึ่งเป็นเพียงแนวทางในการคำนวณขั้นต่ำสุดที่จะยอมให้ได้เท่านั้น *มีข้อดี* คือ ขนาดของโหลดจะลดลง แต่ก็เพียงพอสำหรับการจ่ายโหดได้ เหมาะสำหรับอาคารขนาด

ใหญ่ที่ใช้โหลดไม่พร้อมกันเช่น อพาร์ทเม้น โรงแรม เป็นต้น *ข้อเสีย* คือ ต้องพิจารณาใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ของโหลดแต่ละประเภทให้ถูกต้องและต้องคำนวณแยกต่างหากจากตารางโหลด แล้วควรจัดให้โหลดที่มีค่าดีมานด์แฟกเตอร์เท่ากันหรือประเภทเดียวกันกระจายไปทุก ๆ เฟส หรืออาจแยกโหลดที่เป็นประเภทเดียวกันออกมาอยู่อีกหนึ่งแผงย่อยก็ได้ เพื่อป้องกันมิให้เครื่องป้องกันกระแสเกินเล็กเกินไปสำหรับโหลดบางเฟสเมื่อใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ ไม่เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไปที่มีโอกาศใช้โหลดพร้อมกันทั้งหมด

การคำนวณโหลดโดยการรวมวงจรย่อย หมายถึงการคำนวณโหลดที่ไม่ใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ในวงจรสายป้อน (ห้ามใช้ดีมานด์แฟกเตอร์กับโหลดวงจรย่อยเช่นกัน) ส่วนวงจรสายประธานประกอบด้วยโหลดสายป้อนหลาย ๆ ชุด หรือหลายๆ แผงจ่ายไฟ ซึ่งแผงจ่ายไฟที่จ่ายโหลดลักษณะคล้ายกันโอกาสที่ใช้งานไม่พร้อมกันมีอยู่สูง จึงอาจใช้ดีมานด์แฟกเตอร์คูณเข้ากับโหลดสายเมน เพื่อจะทำให้ได้ระบบไฟฟ้าเล็กลง แต่ก็เพียงพอที่จะจ่ายโหลดได้ *มีข้อดี* คือสามารถรวมโหลดของระบบไฟฟ้าจากตารางโหลดได้โดยตรงไม่ต้องแยกคำนวณเนื่องจากไม่คิดค่ามานด์แฟกเตอร์ เหมาะสำหรับอาคารหรือโรงงานขนาดเล็กที่ใช้โหลดพร้อมกัน เช่น บ้านพักอาศัยทั่วไป เป็นต้น *ข้อเสีย* คือ ระบบสายป้อนหรือสายประธานอาจมีขนาดใหญ่เกิน ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ไม่เหมาะสำหรับอาคารขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการจ่ายไฟคล้ายกัน เช่น อพาร์ทเม้น โรงแรม เป็นต้น

3. การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และขนาดสายไฟฟ้าของวงจรสายป้อน มีข้อกำหนดและวิธีการอย่างไร

ตอบ การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน มีข้อกำหนดและวิธีการคำนวณหาเหมือนกับวงจรย่อย กล่าวคือเมื่อได้ค่าโหลดของสายป้อนแล้วนำไปหาหาพิกัดกระแส (In) และหาพิกัดเครื่องป้องกัน โดยเผื่อไว้ 125 % เช่นกัน แต่ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย มีข้อพิจารณาเพิ่มเติม 2 กรณีคือ

1. กรณีโหลดสมดุล (ห่างกันไม่เกิน 20 %) ค่าโหลดของสายป้อน คือนำค่าโหลดของแต่ละเฟสมารวมกันแล้วมาคำนวนหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ตามสมการนี้

$$In = \frac{VA_{รวม} \times 1.25}{\sqrt{3} \times 400}$$

2. กรณีโหลดไม่สมดุล (ห่างกันเกิน 20 %) ค่าโหลดของสายป้อน คือเลือกค่าโหลดของเฟสใดเฟสหนึ่งที่สูงสุดมาคำนวณหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ตามสมการนี้

$$In = \frac{VA_{เฟส} \times 1.25}{230}$$

การหาขนาดสายไฟฟ้าของสายป้อน มีข้อกำหนดและวิธีการดังนี้

1. สายเส้นไฟ ขนาดสายเส้นไฟของวงจรสายป้อนต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้และต้องไม่ต่ำกว่าพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้งาน และต้องไม่เล็กกว่า 4 mm^2

$$I_F \geq I_n \geq I_L$$

เมื่อ

I_F = พิกัดกระแสสายไฟฟ้าวงจรสายป้อน (A)

I_n = พิกัดกระแสเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน (A)

I_L = พิกัดกระแสโหลดสูงสุดของวงจรสายป้อน (A)

2. สายนิวทรัล ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย สายนิวทรัลเท่ากับสายเส้นไฟเสนอ ส่วนในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ซึ่งจ่ายไฟให้กับโหลดชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส จะมีกระแสไหลในสายนิวทรัลน้อยกว่าสายเส้นไฟ ส่งผลให้สามารถลดขนาดสายนิวทรัลได้ โดยขนาดสายนิวทรัล ต้องมีขนาดกระแสเพียงพอที่จะรับกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ และต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

4. การหาขนาดสายนิวทรัลของวงจรสายป้อน มีข้อกำหนดแตกต่างจากการหาขนาดสายเส้นไฟอย่างไร และมีความเกี่ยวข้องกับกระแสของโหลดไม่สมดุลสูงสุดอย่างไร

ตอบ การหาขนาดสายนิวทรัลของวงจรสายป้อน มีข้อกำหนดแตกต่างจากการหาขนาดสายเส้นไฟ และมีความเกี่ยวข้องกับกระแสของโหลดไม่สมดุลสูงสุด 3 กรณีดังนี้

1) กรณีสายเส้นไฟมีกระแสของโหลดไม่สมดุลสูงสุดไม่เกิน 200 A ขนาดกระแสของตัวนำนิวทรัลต้องไม่น้อยกว่าขนาดกระแสของโหลดไม่สมดุลสูงสุดนั้น

$I_n = I_P$ คือ ขนาดกระแสสายนิวทรัลเท่ากับเส้นไฟ (Full Neutral)

2) กรณีสายเส้นไฟมีกระแสของโหลดไม่สมดุลสูงสุดมากกว่า 200 A ขนาดกระแสของตัวนำนิวทรัลต้องไม่น้อยกว่า 200 A บวกด้วย 70 % ของส่วนที่เกิน 200 A

$$I_n = 200 + 0.7(I_P - 200)$$

3) ไม่อนุญาตให้คำนวณลดขนาดกระแสในตัวนำนิวทรัลในส่วนของโหลดไม่สมดุลที่ประกอบด้วยหลอดชนิดปล่อยประจุ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น อุปกรณ์เกี่ยวกับการประมวลผลข้อมูล หรืออุปกรณ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายกันที่ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิก (harmonic) ในสายนิวทรัล

$I_n = I_P$ (Full Neutral)

<u>กระแสของโหลดไม่สมดุลสูงสุด</u> หมายถึงค่าสูงสุดที่คำนวณได้จากโหลด 1 เฟส ที่ต่อระหว่างสายนิวทรัลกับสายเส้นไฟเฟสใดเฟสหนึ่ง สำหรับในทางปฏิบัติขนาดสายนิวทรัลอาจพิจารณาจากชนิดของโหลดเป็นเบื้องต้นก็ได้ คือ

ถ้าโหลดทั้งหมดเป็นโหลด 3 เฟส => สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ถ้าโหลด 40 % เป็นโหลด 3 เฟส => สายนิวทรัลเท่ากับครึ่งหนึ่งของสายเส้นไฟ (Half Neutral)

ถ้าโหลดทั้งหมดเป็นโหลด 1 เฟส => สายนิวทรัลเท่ากับสายเส้นไฟ (Full Neutral)

5. การหาพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และขนาดสายไฟฟ้าของวงจรสายประธาน มีข้อกำหนดและรายละเอียดอย่างไร

ตอบ เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 125 % ของโหลดที่คำนวณได้เช่นเดียวกับเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน การติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน มีรายละเอียดและข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

1. เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องสามารถตัดกระแสลัดวงจรค่ามากที่สุดที่อาจเกิดขึ้นที่จุดต่อไฟด้านไฟออกของเครื่องป้องกันกระแสเกินได้ โดยคุณสมบัติยังคงเดิม ทั้งนี้ค่าพิกัดกระแสลัดวงจรไม่ต่ำกว่า 10 kA ยกเว้น ในบางพื้นที่ที่การไฟฟ้าฯ กำหนดเป็นกรณีพิเศษ

2. กรณีระบบที่นิวทรัลของระบบวาย (wye) ต่อลงดินโดยตรง แผงเมนสวิตช์หรือแผ่งย่อยแรงต่ำที่มีขนาดพิกัดตั้งแต่ 1,000 A ขึ้นไป ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดินของเมนสวิตช์

3. ไม่อนุญาตให้ติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินในสายเส้นที่มีการต่อลงดินหรือสายนิวทรัล ยกเว้น เครื่องป้องกันกระแสเกินที่เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งตัดวงจรทุกสายของวงจรออกพร้อมกัน

4. กรณีเป็นเครื่องวัดแรงต่ำ พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินชองเมนสวิตช์ต้องไม่เกินที่กำหนดในตารางด้านล่าง

ตารางพิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและโหลดสูงสุดตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า
(สำหรับการไฟฟ้านครหลวง)

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	ระบบไฟฟ้า (เฟส)	พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	โหลดสูงสุด (A)
5(15)	1	16	10
15(45)	1, 3	50	30
30(100)	1, 3	100	75
50(150)	1, 3	125	100
200	3	200	150
		250	200
400	3	300	250
		400	300
		500	400

หมายเหตุ พิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินอาจมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางนี้ได้ แต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของโหลดที่คำนวณได้

ตารางขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ ขนาดสายไฟฟ้า เซฟตี้สวิตช์ คัตเอาต์ และคาร์ทริดจ์ฟิวส์สำหรับตัวนำประธาน (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	ชนิดเครื่องวัด	ระบบไฟฟ้า (เฟส)	ขนาดตัวนำประธานเล็กสุดที่ยอมให้ใช้ได้ (ตร.มม.)		บริภัณฑ์ประธาน				
					เซฟตีสวิตช์หรือโหลดเบรกสวิตช์		คัตเอาต์ใช้ร่วมกับคาร์ทริดจ์ฟิวส์		เซอร์กิตเบรกเกอร์
			สายอะลูมิเนียม	สายทองแดง	ขนาดสวิตช์ต่ำสุด (A)	ขนาดฟิวส์สูงสุด (A)	ขนาดคัตเอาต์ต่ำสุด (A)	ขนาดฟิวส์สูงสุด (A)	ขนาดปรับตั้งสูงสุด (A)
5(15)	จานหมุน	1	10	4	30	16	20	16	16
15(45)		1, 3	25	10	60	50	-	-	50
30(100)		1, 3	50	35	100	100	-	-	100
5(100)	อิเล็กทรอนิกส์	1, 3	10	4	30	16	20	16	16
			25	10	60	50	-	-	50
			50	35	100	100	-	-	100
200 (ประกอบ CT แรงต่ำ)		3	50	35	-	-	-		125
			70	50	-	-	-	-	160
			95	70	-	-	-	-	200

หมายเหตุ ; (1) สำหรับตัวนำประธานภายในอาคารให้ใช้สายตัวนำทองแดง

(2) ขนาดสายในตารางนี้สำหรับวิธีการเดินสายลอยในอากาศวัสดุฉนวนภายนอกอาคารเท่านั้น หากวิธีเดินสายแบบอื่นให้พิจารณาขนาดตัวนำประธานในบทที่ 4 แต่ทั้งนี้ ขนาดตัวนำประธานต้องรับกระแสไม่น้อยกว่าขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินตามตาราง

ขนาดสายไฟฟ้าของวงจรสายประธาน คือสายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้ากับเมนสวิตช์หรือระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากับเมนสวิตช์ ข้อกำหนดและรายละเอียดดังนี้

1. สายเส้นไฟ ขนาดสายเส้นไฟของสายเมนต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ และต้องไม่ต่ำกว่าพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้งาน และต้องไม่เล็กกว่า 4 mm^2 เช่นเดียวกับการคิดสายป้อน

$$I_M \geq I_n \geq I_L$$

เมื่อ

I_M = พิกัดกระแสสายไฟฟ้าสายเมน (A)

I_n = พิกัดกระแสเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายเมน (A)

I_L = พิกัดกระแสโหลดสูงสุดของสายเมน (A)

2. สายนิวทรัล ในระบบ 3 เฟส 4 สาย จะกำหนดจากกระแสที่ไหลในสายนิวทรัลเช่นเดียวกับสายป้อน และต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า และต้องไม่เล็กกว่า 12.5 % ของสายเส้นไฟใหญ่สุดต่อเฟส แต่ไม่จำเป็นต้องใหญ่กว่าสายเฟสนอกจากเผื่อสำหรับปัญหาฮาร์มอนิก

3. ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับสายเมนเข้าอาคาร

ก) สายเมนเข้าอาคารชนิดสายอากาศ การไฟฟ้านครหลวงกำหนดให้สายไฟฟ้าต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวนชนิดที่เหมาะสมกับลักษณะการติดตั้ง มีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกระแสเกิน สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมให้ใช้สายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนที่เหมาะสมเป็นสายเมนได้เฉพาะการเดินสายลอยในอากาศบนวัสดุภายนอกอาคาร แต่ทั้งนี้ขนาดต้องไม่เล็กกว่า 10 mm^2

ข) สายเมนเข้าอาคารชนิดสายใต้ดิน ต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวนชนิดที่เหมาะกับลักษณะการติดตั้ง มีขนาดไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และต้องไม่เล็กกว่า 10 mm^2 การติดตั้งใต้ดิน ต้องมีแผนผังแสดงแนวสายไฟฟ้าใต้ดินไว้พร้อมที่จะตรวจสอบได้และต้องทำป้ายระบุแนวของสายไฟฟ้าและบอกความลึกของสายบนสุด ป้ายต้องเห็นได้ชัดเจนมีระยะห่างระหว่างป้ายไม่เกิน 50 เมตร กรณีที่มีหลายวงจร ที่ปลายสายและสายที่อยู่ในช่องเปิดของแต่ละวงจรจะต้องมีเครื่องหมายแสดงให้เห็นความแตกต่างติดอยู่อย่างถาวร

4) <u>ข้อยกเว้น</u> กรณีมีความจำเป็นต้องมีสายเมนมากกว่า 1 ชุด โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ก) สำหรับเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ซึ่งต้องการแยกสายเมน

ข) สำหรับระบบไฟฟ้าฉุกเฉินและระบบไฟฟ้าสำรอง

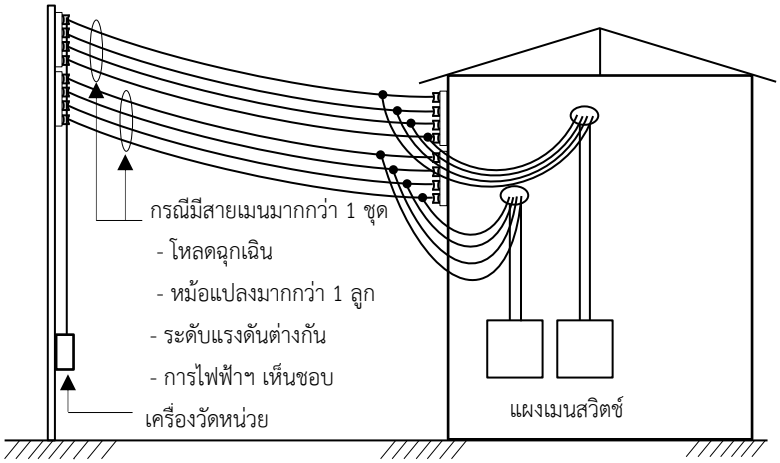
ค) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีอาคารมากกว่า 1 หลัง อยู่ในบริเวณเดียวกันและจำเป็นต้องใช้สายเมนแยกกันภายใต้เงื่อนไขดังนี้

- อาคารทุกหลังต้องมีแผงเมนสวิตช์โดยขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินของแผงเมนสวิตช์รวมกันต้องไม่เกินขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า
- สายเมนจากเครื่องวัดฯ ถึงจุดแยกเข้าแต่ละอาคารต้องมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่าขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินของอาคารทุกหลังรวมกัน
- จุดต่อแยกตัวนำประธานไปยังอาคารหลังอื่นต้องอยู่ในบริเวณของผู้ใช้ไฟฟ้า

ง) เป็นอาคารที่รับไฟจากหม้อแปลงไฟฟ้ามากกว่า 1 ลูก ดังรูปที่ 9.3 หรือที่การไฟฟ้ากำหนดให้ต้องจ่ายไฟฟ้ามากกว่า 1 แหล่งจ่าย

จ) เมื่อต้องการตัวนำประธานที่ระดับแรงดันต่างกัน

ฉ) เป็นอาคารชุด อาคารสูง หรืออาคารขนาดใหญ่เป็นพิเศษ ที่จำเป็นต้องใช้ตัวนำประธานมากกว่า 1 ชุด โดยจะต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ ก่อน



รูปอาคารมีความจำเป็นต้องมีสายเมนมากกว่า 1 ชุด

6. วงจรย่อยประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 2 × 36 จำนวน 6 ชุด และเต้ารับใช้งานทั่วไปจำนวน 10 จุด จงหาขนาดพิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์

<u>วิธีทำ</u>

หาค่าโหลดวงจรย่อย

โหลดแสงสว่าง 100 VA × 2 หลอด x 6 ชุด = 1,200 VA

โหลดเต้ารับ 180 VA x 10 ชุด = 1,800 VA

โหลดวงจรย่อยรวม 3,000 VA

คำนวณหาค่าพิกัดกระแสวงจรย่อย In = (3,000 / 230) x 1.25

In = 16.30 A

เลือกขนาดพิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 20 AT

7. วงจรย่อยประกอบด้วยหลอด LED T8 ขนาด 2 × 18 W จำนวน 15 ชุด จงหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาดสายไฟฟ้าและขนาดท่อร้อยสาย กำหนดใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

ค่าโหลดวงจรย่อยหลอด LED T8 เท่ากับ 25 VA × 2 หลอด x 15 ชุด = 750 VA

คำนวณหาค่าพิกัดกระแสวงจรย่อย In = (750 / 230) x 1.25 = 4.08 A

เลือกขนาดพิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 10 AT

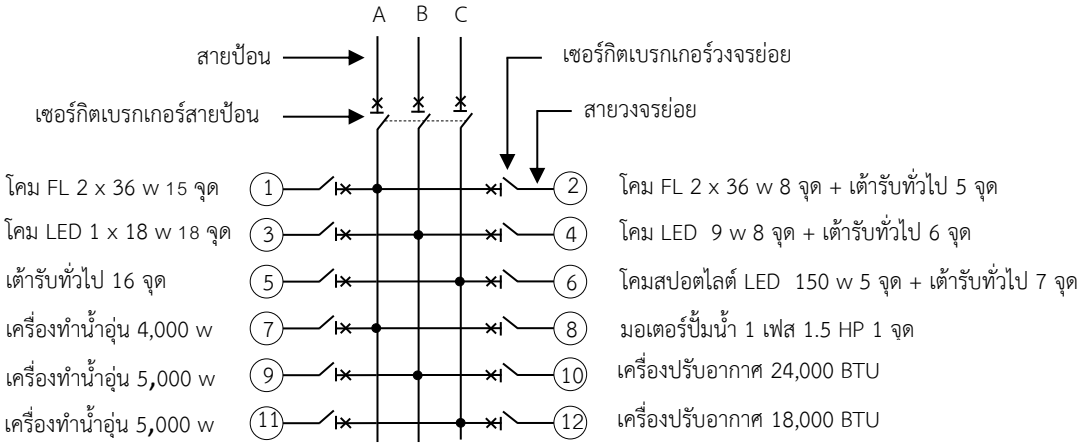
เลือกขนาดสายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2

เลือกขนาดท่อร้อยสายโลหะบาง ขนาด ø 15 mm

8. วงจรสายป้อนระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ของอาคารสำนักงานแห่งหนึ่ง จ่ายไฟให้โหลดตามแผนภาพด้านล่าง ให้จัดทำตารางโหลดและกำหนดเซอร์กิตเบรกเกอร์และขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อยและสายป้อน กำหนดให้ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนังทั้งหมด โดย

1. วิธีการคำนวณโหลดตาม วสท.

2. วิธีการคำนวณโดยการรวมวงจรย่อย



<u>วิธีทำ</u>

วงจรย่อย

วงจรย่อยที่ 1

$$In = \frac{100 \times 2 \times 15 \times 1.25}{230} = 16.30 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 20 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A)

วงจรย่อยที่ 3

$$In = \frac{25 \times 15 \times 1.25}{230} = 2.04 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 10 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A)

วงจรย่อยที่ 5

$$In = \frac{180 \times 16 \times 1.25}{230} = 15.65 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 20 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A)

วงจรย่อยที่ 2

$$In = \frac{((200 \times 8) + (180 \times 5)) \times 1.25}{230} = 13.57 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 16 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A) วงจรย่อยที่ 4

$$In = \frac{((25 \times 8) + (180 \times 6)) \times 1.25}{230} = 9.96\ A$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 16 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A) วงจรย่อยที่ 6

$$In = \frac{200 \times 5 \times 1.25}{230} = 5.43\ A$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 10 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A) วงจรย่อยที่ 7

$$In = \frac{4{,}000 \times 1.25}{230} = 21.74\ A$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 25 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 4 mm^2 (28 A) วงจรย่อยที่ 9 และ 11

$$In = \frac{5{,}000 \times 1.25}{230} = 27.17\ A$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 32 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 6 mm^2 (36 A) วงจรย่อยที่ 8

$$In \leq 9.6\ A \times 2.5 \leq 24\ A$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 20 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A) วงจรย่อยที่ 10

$$In = \frac{2600 \times 1.75}{230} = 19.78\ A$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 20 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A) วงจรย่อยที่ 12

$$In = \frac{1700 \times 1.75}{230} = 12.93\ A$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 16 AT,1P สายไฟฟ้า IEC 01 ขนาด 2 x 2.5 mm^2 (21 A)

วิธีการคำนวณโหลดตาม วสท.

1.โหลดไฟฟ้าแสงสว่าง

รวมโหลดเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 100% (อาคารประเภทอื่น)

เท่ากับ (100 x 2 x 15) + (25 x 15) +(200 x 8) + (25 x 8) + (200 x 5) = 6,175 VA

2. เต้ารับใช้งานทั่วไป

รวมโหลดเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ ไม่เกิน 10 kVA คิด 100% (อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย)

เท่ากับ 180 x 27 จุด = 4,860 VA

3. เครื่องทำน้ำร้อน

รวมโหลดเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 100 % ของสองตัวแรกใหญ่สุด + 25 % ของตัวที่เหลือ

เท่ากับ 5,000 + 5,000 +(4,000 x 0.25) = 11,000 VA

4. เครื่องปรับอากาศ

รวมโหลดเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 100% (อาคารสำนักงาน)

เท่ากับ 2,600 + 1,700 = 4,300 VA

5. เครื่องมอเตอร์ปั๊มน้ำ 1 เฟส

รวมโหลดเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 100 %

เท่ากับ 9.6 A x 230 = 2,208 VA

รวมโหลดสายป้อน

เมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 6,175 + 4,860 + 11,000 + 4,300 + 2,208 = 28,543 VA

กรณีจัดโหลดสมดุล

$$\text{ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์} = \frac{28{,}543 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 400} = 51.50 \text{ A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 63 AT, 3P

วิธีการคำนวณโดยการรวมวงจรย่อย

ได้ค่าตามตารางโหลดด้านล่าง

คำนวณหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์และขนาดสายป้อนได้ดังนี้

$$\text{ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์} = \frac{31{,}543 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 400} = 56.91 \text{ A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 63 AT, 3P

จัดทำตารางโหลด ได้ดังนี้

ตารางโหลด

สถานที่ อาคารสำนักงาน แผงย่อย PL

ขนาดพิกัดบัสบาร์ 100 A 12 วงจรย่อย

วงจรที่	รายการโหลด	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย
		A	B	C	ขั้ว	AT	AF	
1	แสงสว่าง	3000			1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 in EMT ø ½ “
3	แสงสว่าง		375		1	10	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G in EMT ø 1 “
5	เต้ารับ			2,880	1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G-2.5 in EMT ø ½ “
2	แสงสว่าง + เต้ารับ	2,500			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G-2.5 in EMT ø ½ “
4	แสงสว่าง + เต้ารับ		1,280		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G-2.5 in EMT ø ½ “
6	แสงสว่าง			1,000	1	10	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G in EMT ø ½ “
7	เครื่องทำน้ำอุ่น	4,000			1	25	63	IEC 01, 2 x 4 mm^2 G-4 in EMT ø ½ “
9	เครื่องทำน้ำอุ่น		5,000		1	32	63	IEC 01, 2 x 6 mm^2 G-4 in EMT ø ½ “
11	เครื่องทำน้ำอุ่น			5,000	1	32	63	IEC 01, 2 x 6 mm^2 G-4 in EMT ø ½ “
8	มอเตอร์ปั๊มน้ำ	2,208			1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G-2.5 in EMT ø ½ “
10	เครื่องปรับอากาศ		2,600		1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G-2.5 in EMT ø ½ “
12	เครื่องปรับอากาศ			1,700	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 G-2.5 in EMT ø ½ “
รวม		11,708	9,255	10,580	70 AT/100 AF			IEC 01, 4 x 25 mm^2 in IMC ø 1 ½ “
		31,543 (DF=28,543)			3P			G - 6 mm^2

จากการวิเคราะห์ตารางโหลด

โหลดแต่เฟสมีความแตกต่างกันเกิน 20 % (11,708 x 0.2 = 2,341)

ดังนั้นจึงคำนวณหาขนาดเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยวิธีเลือกเฟสที่สูงที่สุด คือ เฟส A ได้ดังนี้

$$\text{ขนาดเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์} = \frac{11{,}705 \times 1.25}{230} = 63.61 \text{ A}$$

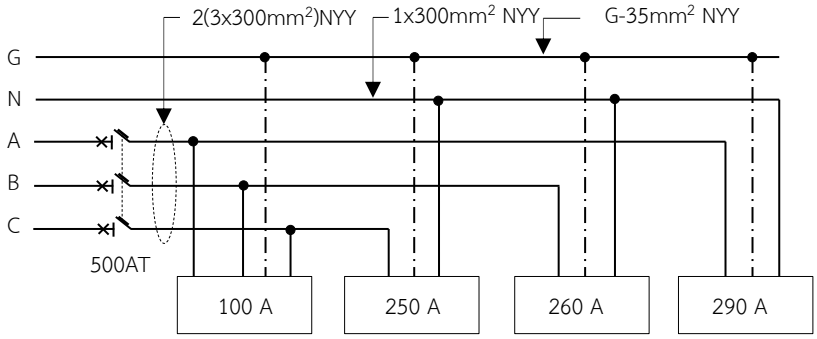
เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 70 AT, 3P

ขนาดสายเส้นเฟส IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ขนาด 3 x 25 mm^2 (77 A)

ขนาดสายนิวทรัล IEC 01 ขนาด 1 x 25 mm^2 (โหลดทั้งหมดเป็นโหลด 1 เฟส)

ขนาดสายดินบริภัณฑ์ไฟฟ้าขนาด 6 mm^2

9. วงจรสายป้อน 3 เฟส 4 สาย จ่ายไฟให้กับโหลดตามรูปด้านล่าง จงหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ สายป้อนขนาดของสายเส้นไฟ ขนาดสายนิวทรัล และขนาดสายดิน เมื่อโหลดในวงจรไม่มีฮาร์มอนิกส์ กำหนดให้ใช้สาย NYY แกนเดียวเดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง



<u>วิธีทำ</u>

เฟส A กระแส = 100 + 290 = 390 A

เฟส B กระแส = 100 + 260 = 360 A

เฟส C กระแส = 100 + 250 = 350 A

เลือกพิจารณาเฟสสูงสุดมาคำนวณหาขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (เฟส A)

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ = 390 x 1.25 = 488 A

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 500 AT, 3P

สายเส้นเฟส ใช้สาย NYY เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ขนาด 2(3 x 300 mm^2) (443 A)

สายนิวทรัล โหลด 1 เฟส ที่มากที่สุดคือเฟส A เท่ากับ 290 A

ขนาดกระแสของสายนิวทรัล = 200 + 0.7 (290 - 200) = 263 A

สายนิวทรัล ใช้สาย NYY เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ขนาด 300 mm^2 (295 A) และ

สายดินขนาด 35 mm^2

10. อาคารอพาร์ตเมนต์หลังหนึ่งมี 4 ชั้น ชั้นละ 14 ห้อง มีโหลดดังนี้

โหลดแต่ละห้อง

1. **โคมหลอด LED 2 x 9 w จำนวน 5 ชุด**
2. **โคมหลอด LED 5 w จำนวน 2 ชุด**
3. **โหลดเต้ารับทั่วไป จำนวน 5 จุด**
4. **โหลดเครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3,800 W จำนวน 1 เครื่อง**
5. **โหลดเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 BTU จำนวน 2 เครื่อง**

โหลดส่วนกลาง

1. **โคมภายในอาคาร LED 1 x 18 w จำนวน 25 ชุด**
2. **โคมส่องป้าย หลอดเมทัลฮาไลด์ 250 w จำนวน2 ชุด**
3. **โคมถนน หลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 w จำนวน12 ชุด**
4. **โคมที่จอดรถ LED 100 w จำนวน 50 ชุด**
5. **โคมไฟรั้ว คอมเพค FL 9 w จำนวน 15 ชุด**

6. โหลดเต้ารับทั่วไป จำนวน 10 จุด

7. โหลดปั๊มน้ำ 3 เฟส 400 V ขนาด 5.5 HP จำนวน 2 ตัว

จงออกแบบระบบไฟฟ้า พร้อมกำหนดขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าส่วนนครหลวง กำหนดให้ใช้สายเมนชนิด CV และ NYY เดินบนรางเคเบิลแบบบันได สายป้อนชนิด IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง สายวงจรย่อยภายในห้องพักชนิด VAF เดินเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

<u>โหลดแต่ละห้อง</u>

1) โหลดหลอด LED 2 x 9 w (T8) เท่ากับ 25 x 2 x 5 = 250 VA (คิดเผื่อที่ LED 18 w T8)

2) โคมหลอด LED 2 x 5 w เท่ากับ 15 x 2 = 30 VA (คิดเผื่อที่ LED 9 w ดาวไลท์)

รวม = 280 VA

3) โหลดเต้ารับทั่วไป เท่ากับ 180 x 5 = 900 VA

4) โหลดเครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3,800 W เท่ากับ = 3,800 VA

5) โหลดเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 เท่ากับ = 1,500 VA

รวมโหลด 280 + 900 + 3,800 + 1,500 = 6,480 VA

กระแสโหลด 6,480/230 = 28.17 A

ใช้มิเตอร์ขนาด 15(45) , 230 V (เลือกขนาดตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ)

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 28.17 x 1.25 = 35.21 A

ใช้ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 50 AT/63 A (เลือกขนาดปรับตั้งสูงสุดตามขนาดมิเตอร์ของการไฟฟ้าฯ)

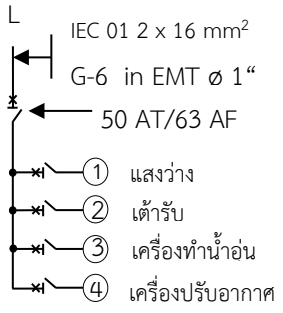
ใช้ขนาดสาย IEC 01 ร้อยท่อเกาะผนัง 2 x 16 mm^2 (44 A) G–6 mm^2

ตารางโหลด

สถานที่ อาคารอพาร์ทเมนต์ 4 ชั้น แผงย่อยประจำห้องพัก 1 เฟส 2 สาย

ขนาดพิกัดบัสบาร์ 63 A 4 วงจรย่อย

วงจรที่	รายการโหลด	โหลด (VA)	เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย	ไดอะแกรม
			ขั้ว	AT	AF		
1	แสงสว่าง	280	1	16	63	VAF 2 x 2.5 mm^2	
2	เต้ารับ	900	1	16	63	VAF-G 3 x 2.5 mm^2	
3	เครื่องทำน้ำอุ่น	3,800	1	25	63	VAF-G 3 x 4 mm^2	
4	เครื่องปรับอากาศ	1,500	1	16	63	VAF-G 3 x 2.5 mm^2	
รวม		6,480	50 AT/63 AF 2P			IEC 01 2 x 16 mm^2 G - 6 mm^2 in EMT ø 1 “	



<u>โหลดสายป้อนแต่ละชั้น</u>

1) โหลดแสงสว่างเท่ากับ 280 x 14 = 3,920 VA

ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เท่ากับ 3,000 + (3,920 – 3000) x 0.35 = 3,322 VA

3) โหลดเต้ารับทั่วไปเท่ากับ (เป็นที่อยู่อาศัย) 900 x 14 = 12,600 VA

4) โหลดเครื่องทำน้ำอุ่นขนาด เท่ากับ 3,800 x 14 = 53,200 VA

ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เท่ากับ (3,800 x 2) + (53,200 –7,600) x 0.25 = 19,000 VA

5) โหลดเครื่องปรับอากาศขนาดเท่ากับ 1,500 x 14 = 21,000 VA

รวมโหลดสายป้อนแต่ละชั้น = 3,322 +12,600 +19,000 + 21,000 = 55,922 VA

จากวิเคราะห์โหลดสายป้อนแต่ละชั้น ไม่มีโอกาสใช้โหลดพร้อมกัน จึงเลือกใช้คำนวณโหลดตาม วสท. ดังนี้

$$\text{ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์} = \frac{55{,}922 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 400} = 101 \text{ A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 125 AT/250 AF , 3 P

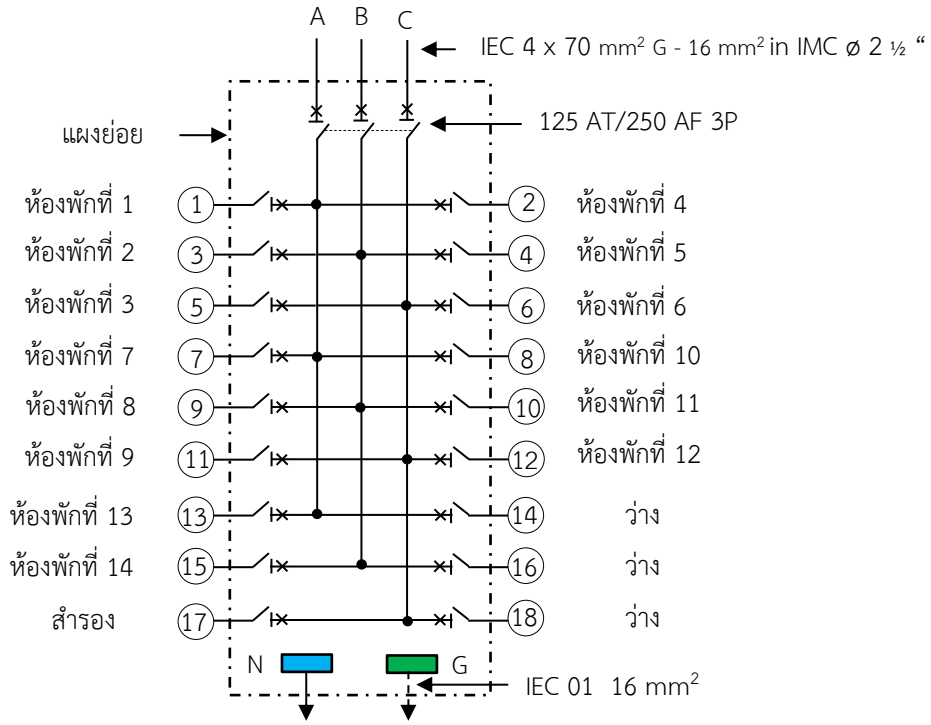
เลือกสาย IEC 01 , 4 x 70 mm^2 (149 A) G - 16 mm^2 , IMC ø 2 ½ นิ้ว

ตารางโหลด

สถานที่ อาคารอพาร์ทเมนต์ 4 ชั้น แผงย่อยประจำแต่ละชั้น (จัดเฟสให้สมดุล)

ขนาดพิกัดบัสบาร์ 200 A 18 วงจรย่อย

วงจรที่	รายการโหลด	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย
		A	B	C	ขั้ว	AT	AF	
1	ห้องพักที่ 1	6,480			1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
3	ห้องพักที่ 2		6,480		1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
5	ห้องพักที่ 3			6,480	1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
2	ห้องพักที่ 4	6,480			1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
4	ห้องพักที่ 5		6,480		1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
6	ห้องพักที่ 6			6,480	1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
7	ห้องพักที่ 7	6,480			1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
9	ห้องพักที่ 8		6,480		1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
11	ห้องพักที่ 9			6,480	1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
8	ห้องพักที่ 10	6,480			1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
10	ห้องพักที่ 11		6,480		1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
12	ห้องพักที่ 12			6,480	1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
13	ห้องพักที่ 13	6,480			1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
15	ห้องพักที่ 14		6,480		1	50	63	IEC 01, 2 x 16 mm^2 G-6 in EMT ø 1 “
17	สำรอง			1,500	1	16	63	-
14	ว่าง	-			-	-	-	-
16	ว่าง		-		-	-	-	-
18	ว่าง			-	-	-	-	-
รวม		32,400	32,400	27,420	125 AT/250 AF 3P			IEC 01, 4 x 70 mm^2 in IMC ø 2 ½ “ G - 16 mm^2
		92,220 (DF=55,922)						



<u>โหลดสายป้อนส่วนกลาง</u>

1) โหลดแสงสว่างเท่ากับ

(25 x 25) + (500 x2) + (500 x 12) + (150 x 50) +(40 x 15) = 15,725 VA

ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ เท่ากับ 3,000 + (15,725 – 3,000) x 0.35 = 7,454 VA

2) โหลดเต้ารับทั่วไปเท่ากับ 180 x 10 = 1,800 VA

3) โหลดปั้มน้ำ 3 เฟส 400 V 5.5 HP เท่ากับ √3 x 400 x 8.1 x 2 = 11,224 VA

รวมโหลดสายป้อน = 7,454 +1,800 +11,224 = 20,478 VA

เมื่อวิเคราะห์โหลดส่วนกลาง มีโอกาสเปิดพร้อมกันสูง จึงเลือกคำนวณจากโหลดวิธีรวมวงจรย่อย (ไม่คิดค่าดีมานด์แฟกเตอร์) และจัดโหลดได้สมดุลตามตารางโหลดด้านล่าง จะได้

$$\text{ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์} = \frac{28{,}501 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 400} = 51.42 \text{ A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 63 AT 125 AF, 3P

เลือกสาย IEC 01 , 4 x 25 mm^2 (77 A) G - 6 mm^2 , IMC ø 1 ½ นิ้ว

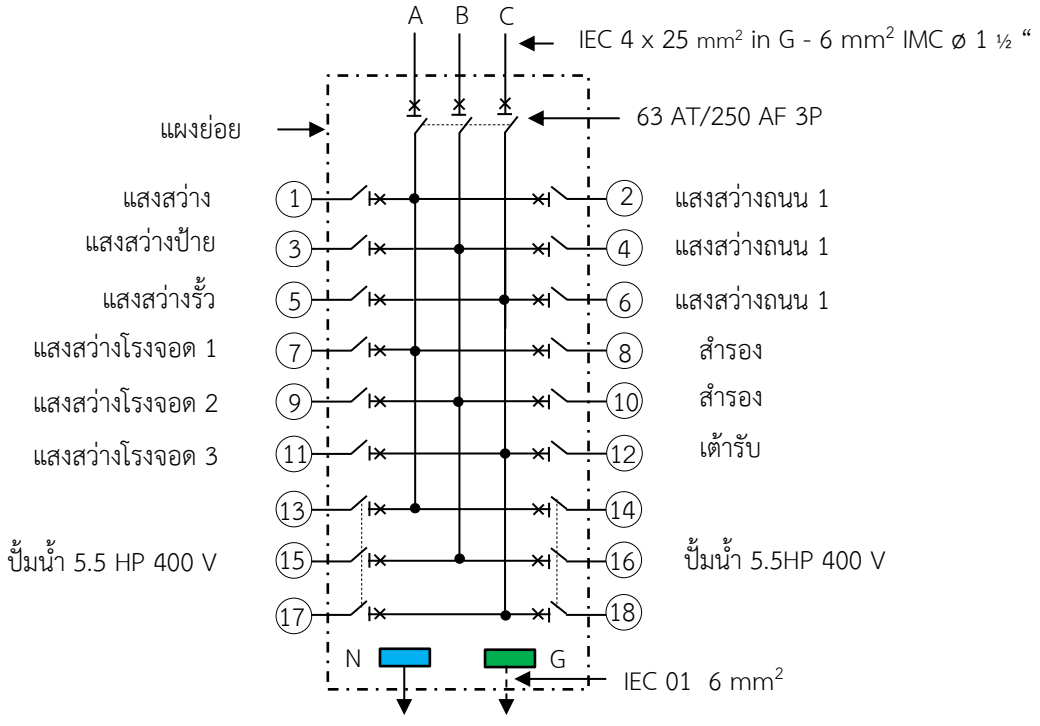
จัดทำตารางโหลดได้ดังนี้

ตารางโหลด

สถานที่ อาคารอพาร์ทเมนต์ 4 ชั้น แผงย่อยส่วนกลาง

ขนาดพิกัดบัสบาร์ 100 A 3 เฟส 4 สาย 18 วงจร

วงจรที่	รายการโหลด	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย
		A	B	C	ขั้ว	AT	AF	
1	แสงสว่างในอาคาร	625			1	16	63	IEC 01 2 x 2.5 mm^2 in EMT ø ½ “
3	แสงสว่างป้าย		1,000		1	16	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
5	แสงสว่างรั้ว			600	1	16	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
2	แสงสว่างถนน 1	2,000			1	16	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
4	แสงสว่างถนน 2		2,000		1	16	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
6	แสงสว่างถนน 3			2,000	1	16	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
7	แสงสว่างโรงจอด 1	2,250			1	16	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
9	แสงสว่างโรงจอด 2		2,250		1	16	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
11	แสงสว่างโรงจอด 3			3,000	1	20	63	NYY 3/c 2.5 mm^2 in PVC ø 1 “
8	สำรอง	1000			1	16	63	-
10	สำรอง		1000		1	16	63	-
12	เต้ารับ			1,800	1	20	63	IEC 01 2 x 2.5 mm^2 in EMT ø ½ “
13	ปั๊มน้ำ 400 V 5.5 HP	1,871			3	16	63	IEC 01 3 x 2.5 mm^2 in EMT ø ½ “ G - 2.5 mm^2
15			1,871					
17				1,871				
14	ปั๊มน้ำ 400 V 5.5 HP	1,871			3	16	63	IEC 01 3 x 2.5 mm^2 in EMT ø ½ “ G - 2.5 mm^2
16			1,871					
18				1,871				
รวม		9,617	9,992	8,892	63 AT/125 AF 3P			IEC 01 4 x 25 mm^2 in IMC ø 1 ½ “ G - 6 mm^2
		28,501 (DF=20,478)						



โหลดวงจรประธาน

1) โหลดแสงสว่างเท่ากับ (3,920 x 4) + 15,725 = 31,405 VA

ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ เท่ากับ 3,000 + (31,405 – 3000) x 0.35 = 12,942 VA

3) โหลดเต้ารับทั่วไปเท่ากับ (12,600 x 4) + 1,800 = 52,200 VA

4) โหลดเครื่องทำน้ำอุ่นขนาด เท่ากับ 53,200 x 4 = 212,800 VA

ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ เท่ากับ (3,800 x 2) + (212,800 –7,600) x 0.25 = 58,900 VA

5) โหลดเครื่องปรับอากาศขนาดเท่ากับ 21,000 x 4 = 84,000 VA

6) โหลดเครื่องปั๊มน้ำเท่ากับ = 11,224 VA

รวมโหลดทั้งอาคารเท่ากับ 12,942 + 52,200 + 58,900 + 84,000 + 11,224 = 219,266 VA

นำไปเขียนลงในตารางโหลดได้ดังนี้

ตารางโหลด

สถานที่ อาคารอพาร์ทเมนต์ 4 ชั้น แผงเมนสวิตช์ MDB

ขนาดพิกัดบัสบาร์ 630 A 3 เฟส 4 สาย 6 วงจร

วงจรที่	รายการโหลด	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย
		A	B	C	ขั้ว	AT	AF	
1	แผงย่อยชั้นที่ 1	32,400	32,400	27,420	3	125	250	IEC 01, 4 x 70 mm^2 G-16 mm^2 in IMC ø 2 ½ “
2	แผงย่อยชั้นที่ 2	32,400	27,420	32,400	3	125	250	IEC 01, 4 x 70 mm^2 G-16 mm^2 in IMC ø 2 ½ “
3	แผงย่อยชั้นที่ 3	27,420	32,400	32,400	3	125	250	IEC 01, 4 x 70 mm^2 G-16 mm^2 in IMC ø 2 ½ “
4	แผงย่อยชั้นที่ 4	32,400	32,400	27,420	3	125	250	IEC 01, 4 x 70 mm^2 G-16 mm^2 in IMC ø 2 ½ “
5	แผงย่อยกลาง	9,617	9,992	8,892	3	63	125	IEC 01, 4 x 70 mm^2 G-16 mm^2 in IMC ø 2 ½ “
6	สำรอง	5,000	5,000	5,000	3	32	63	-
รวม		**139,237**	**139,612**	**133,532**	400 AT/630 AF			CV, 4 x 150 mm^2
		412,381 (DF=219,266)			3P			Cable Ladder with 200 mm G - 35 mm^2

จากวิเคราะห์โหลดของอาคารอาคารอพาร์ทเมนต์แห่งนี้ ไม่มีโอกาสใช้โหลดพร้อมกันในส่วนห้องพัก ส่วนโหลดส่วนกลางมีโอกาสใช้พร้อมกัน และจัดเฟสได้สมดุล จึงเลือกค่าโหลดรวมของอาคารจากทั้งสองวิธีมาคำนวณหาขนาดวงจรประธาน ได้ดังนี้

ขนาดโหลดรวมของอาคารเท่ากับ (55,922 x 4) + 28,501 = 252,189 VA

ขนาดพิกัดหม้อแปลงเท่ากับ 252,189 x 1.20 = 303 kVA

เลือกขนาดพิกัดหม้อแปลงที่มีจำหน่าย 315 kVA 22 kV/230-400 V 3 ø 4 W

$$\text{เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำปรับตั้งสูงสุด 100 \%} = \frac{315 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 455 \text{ A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 400 AT/630 AF , 3 P (มีจำหน่ายที่ปรับตั้งไม่ได้)

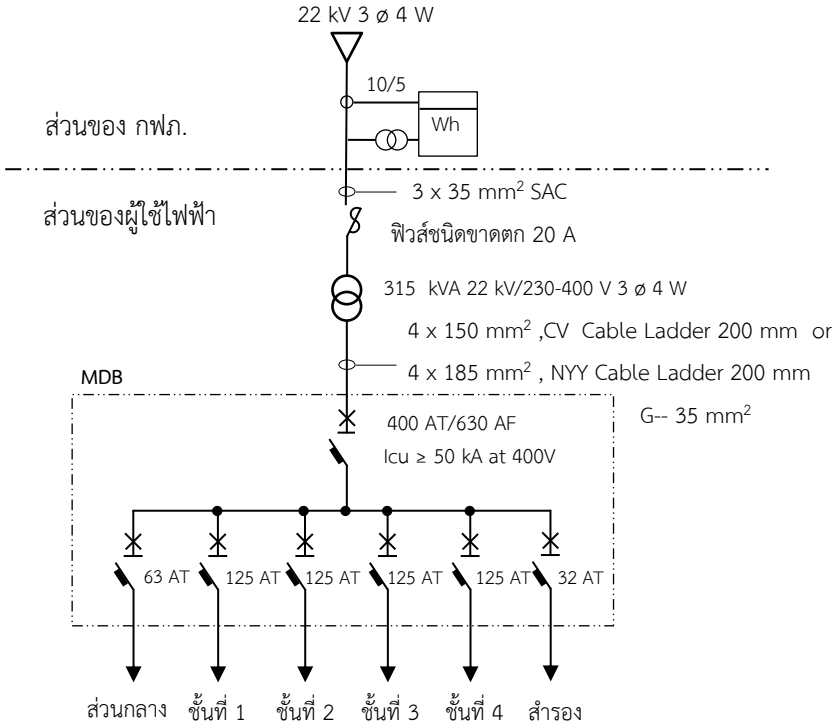
เลือกสาย CV , 4 x 150 mm^2 (422 A), G - 35 mm^2 วางชิดแนวนอน Cable Ladder 200 mm

หรือเลือกสาย NYY , 4 x 185 mm^2 (441 A), G - 35 mm^2 วางชิดแนวนอน Cable Ladder 200 mm

(สายนิวทรัลเท่ากับสายเส้นไฟ พิจารณาจากโหลดทั้งหมดเป็นระบบ 1 เฟส)

$$\text{ขนาดฟิวส์ลิงก์ปรับตั้งสูงสุด 300 \%} = \frac{315 \times 1{,}000 \times 3}{\sqrt{3} \times 22{,}000} = 24.80 \text{ A}$$

เลือกขนาดฟิวส์ลิงก์ 16 A สาย SAC ขนาด 3 x 35 mm^2 มิเตอร์ประกอบ CT,VT แรงสูง ขนาด 10/5 A และ 22,000/110 V ตามลำดับ และเขียนแผนภาพด้านล่าง สำหรับในส่วนของการไฟฟ้านครหลวง ขนาดหม้อแปลง 315 kVA 24 kV/240-416 V 3 ø 4 W ก็ใช้ขนาดสายเมนและอุปกร์ป้องกันเหมือนกัน



เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 10 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

1. เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับเปิดใช้ไฟนาน 1 ชั่วโมง ทำการเชื่อม 150 ครั้ง แต่ละครั้งนาน 6 วินาที จงหารอบทำงาน (Duty Cycle) ของเครื่องเชื่อม

<u>วิธีทำ</u>

ช่วงเวลาที่เครื่องเชื่อมทำการเชื่อม = $\frac{6 \times 150}{60}$ = 15 นาที

รอบทำงาน = $\frac{15}{60} \times 100$ = 25 %

2. เครื่องเชื่อมอาร์กไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 230 V ขนาด 24.5 kVA รอบทำงาน 40%จงหาขนาดสายไฟฟ้าเข้าเครื่องเชื่อม กำหนดใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

$$I_{FL} = \frac{24.5 \times 1,000}{230} = 107 \text{ A}$$

ตารางที่ 10.1 (หนังสือประกอบการเรียน) ที่รอบทำงาน 40 % ได้ K_3 = 0.71

$$I_C \geq I_{FL} \times K_3$$

$$I_C \geq 107 \times 0.63 \geq 67 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 2 x 25 mm^2 (88 A)

3. เครื่องเชื่อมอาร์กไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 400 V ขนาด 24.5 kVA รอบทำงาน 60% ที่ จงหาขนาดสายไฟฟ้าเข้าเครื่องเชื่อม ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้าและของเครื่องเชื่อม กำหนดใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเครื่องป้องกัน และใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

$$I_{FL} = \frac{24.5 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 400} = 35.36 \text{ A}$$

ตารางที่ 10.1 (หนังสือประกอบการเรียน) ที่รอบทำงาน 60 % ได้ K3 = 0.71

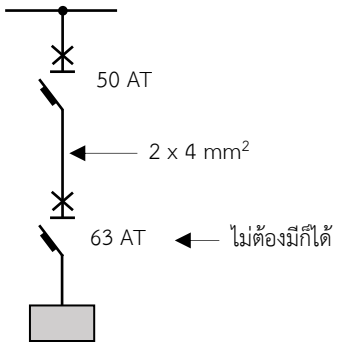
$$I_C \geq I_{FL} \times K_3$$

$$I_C \geq 35.36 \times 0.78 \geq 27.58 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 3 x 4 mm^2 (28 A)

เครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$



$$I_{CB} \leq 2 \times 27.58 \leq 55.16 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 AT ,3P

เครื่องป้องกันกระแสเกินของเครื่องเชื่อม

$$I_{CB} \leq 2 \times I_{FL}$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 35.36 \leq 70.72 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 63 AT

4. เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับสายไฟฟ้าและเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับเครื่องเชื่อม มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

<u>ตอบ</u> *เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับสายไฟฟ้า* ต้องมีการป้องกันกระแสเกิน กำหนดดังนี้

1) เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสตรง และเครื่องเชื่อมอาร์กมอเตอร์เจเนอเรเตอร์

$$I_{CB} \leq 2 \times I_{C}$$

2) เครื่องเชื่อมความต้านทาน

$$I_{CB} \leq 3 \times I_{C}$$

เมื่อ

I_{CB} = ขนาดหรือพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับสายไฟฟ้า หน่วย A

I_{C} = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า หน่วย A

เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับเครื่องเชื่อม ต้องมีการป้องกันกระแสเกิน กำหนดดังนี้

1) เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสตรง และเครื่องเชื่อมอาร์กมอเตอร์เจเนอเรเตอร์

$$I_{CB} \leq 2 \times I_{FL}$$

เมื่อ

I_{CB} = ขนาดหรือพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับเครื่องเชื่อม หน่วย A

I_{FL} = พิกัดกระแสด้านไฟเข้าของเครื่องเชื่อม หน่วย A

สำหรับวงจรที่มีการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้าแล้วมีขนาดพิกัดไม่เกิน 2 เท่าของพิกัดกระแสด้านไฟเข้าของเครื่องเชื่อม อนุญาตไม่ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับเครื่องเชื่อมอีกก็ได้ ให้ใช้เครื่องป้องกันกระแสเกินนี้เป็นเครื่องป้องกันสำหรับเครื่องเชื่อมได้ด้วย

2) เครื่องเชื่อมความต้านทาน

$$I_{CB} \leq 3 \times I_{FL}$$

เมื่อ

I_{CB} = ขนาดหรือพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับเครื่องเชื่อม หน่วย A

I_{FL} = พิกัดกระแสด้านไฟเข้าของเครื่องเชื่อม หน่วย A

ในกรณีนี้เช่นเดียวกัน วงจรที่มีการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้าแล้วมีขนาดพิกัดไม่เกิน 3 เท่าของพิกัดกระแสด้านไฟเข้าของเครื่องเชื่อม อนุญาตไม่ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับเครื่องเชื่อมอีกก็ได้ ให้ใช้เครื่องป้องกันกระแสเกินนี้เป็นเครื่องป้องกันสำหรับเครื่องเชื่อมได้ด้วย

5. เครื่องปลดวงจรย่อยเครื่องเชื่อมหมายถึงอะไร และมีข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ เครื่องปลดวงจรย่อย หมายถึง เครื่องปลดวงจรของเครื่องเชื่อมต้องสามารถปลดสายทุกเส้นได้พร้อมกัน และต้องมีประจำตัวทางด้านไฟเข้าของเครื่องเชื่อมทุกเครื่อง เครื่องปลดวงจรต้องเป็นสวิตช์ตัดตอน (Disconnecting switch) หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ได้ แต่หากเครื่องเชื่อมใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเครื่องป้องกันกระแสเกินจะสามารถใช้เป็นเครื่องปลดวงจรได้ด้วย มีข้อกำหนดได้ดังนี้

1.เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสตรง และเครื่องเชื่อมอาร์กมอเตอร์เจเนอเรเตอร์ เครื่องปลดวงจรต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดกระแสของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่คำนวณได้ในตอนต้น

$$I_{DS} \geq I_{CAL}$$

เมื่อ I_{DS} = พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร หน่วย A

I_{CAL} = พิกัดกระแสของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่คำนวณได้ตอนต้น หน่วย A

2. เครื่องเชื่อมความต้านทาน เครื่องปลดวงจรต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้เครื่องเชื่อม

$$I_{DS} \geq I_{COND}$$

เมื่อ I_{COND} = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้เครื่องเชื่อม หน่วย A

6. การหาขนาดสายและเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม มีข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ ขนาดสายป้อนเครื่องเชื่อม กำหนดจากผลรวมกระแสของเครื่องเชื่อมทุกเครื่อง มีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสตรง และเครื่องเชื่อมอาร์กมอเตอร์เจเนอเรเตอร์

ขนาดกระแสของสายป้อน ≥ ขนาดกระแส 2 เครื่องแรกที่ใหญ่สุด + 85 % ของเครื่องใหญ่ที่ 3 + 70 % ของเครื่องใหญ่ที่ 4 + 60 % ของเครื่องที่เหลือทั้งหมด

<u>ในทางปฏิบัติ</u> หากแน่ชัดว่าเครื่องเชื่อมใช้งานไม่พร้อมกัน ขนาดกระแสของสายป้อนอาจกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณก็ได้

2. เครื่องเชื่อมความต้านทาน

ขนาดกระแสของสายป้อน ≥ ขนาดกระแสของเครื่องใหญ่สุด + 60 % ของเครื่องที่เหลือทั้งหมด

<u>ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินสายป้อน</u> ต้องมีการป้องกันกระแสเกินโดยใช้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีข้อกำหนดขนาดเช่นเดียวกับเครื่องเชื่อมเครื่องเดียวดังนี้

1) เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสตรง และเครื่องเชื่อมอาร์กมอเตอร์เจเนอเรเตอร์

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

2) เครื่องเชื่อมความต้านทาน

$$I_{CB} \leq 3 \times I_C$$

เมื่อ

I_{CB} = ขนาดหรือพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับสายป้อน หน่วย A

I_C = ขนาดกระแสของสายป้อน หน่วย A

7. สายป้อน 3 เฟส 4 สาย จ่ายไฟให้เครื่องเชื่อมจำนวน 3 ชุด ประกอบด้วย

ชุดที่ 1 เครื่องเชื่อมอาร์กไฟฟ้ากระแสสลับ 230 V 10 kVA รอบทำงาน 30% จำนวน 5 เครื่อง

ชุดที่ 2 เครื่องเชื่อมอาร์กมอเตอร์เจเนอเรเตอร์ 400 V 20 kVA รอบทำงาน 40% จำนวน 3 เครื่อง

ชุดที่ 3 เครื่องเชื่อมความต้านทาน 230 V 22 kVA รอบทำงาน 5% จำนวน 3 เครื่อง

จงคำนวณหาขนาดวงจรย่อยและขนาดวงจรสายป้อนเครื่องเชื่อม กำหนดเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเครื่องปลดวงจร และใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนัง

<u>วิธีทำ</u>

<u>วงจรย่อย</u>

<u>เครื่องเชื่อมอาร์กไฟฟ้ากระแสสลับ 230 V 10 kVA รอบทำงาน 30%</u>

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

$$I_{FL} = \frac{10 \times 1{,}000}{230} = 43.48 \text{ A}$$

รอบทำงาน 30 % ได้ K_3 = 0.55

$$I_C \geq 43.48 \times 0.55 \geq 23.91 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 2 x 4 mm^2 (28 A)

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 23.91 \leq 47.82 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 40 AT

<u>เครื่องเชื่อมอาร์กมอเตอร์เจเนอเรเตอร์ 400 V 20 kVA รอบทำงาน 40%</u>

$$I_{FL} = \frac{20 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 28.87 \text{ A}$$

รอบทำงาน 60 % ได้ K_4 = 0.81

$$I_C \geq I_{FL} \times K_3$$

$$I_C \geq 28.87 \times 0.96 \geq 27.72 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 3 x 4 mm^2 (28 A)

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 27.72 \leq 55.44 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 AT ,3P

<u>เครื่องเชื่อมความต้านทาน 230 V 22 kVA รอบทำงาน 5%</u>

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

$$I_{FL} = \frac{22 \times 1{,}000}{230} = 95.65 \text{ A}$$

รอบทำงาน 5 % ได้ K_5 = 0.22

$$I_C \geq 95.65 \times 0.22 \geq 21.04 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 2 x 4 mm^2 (28 A)

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

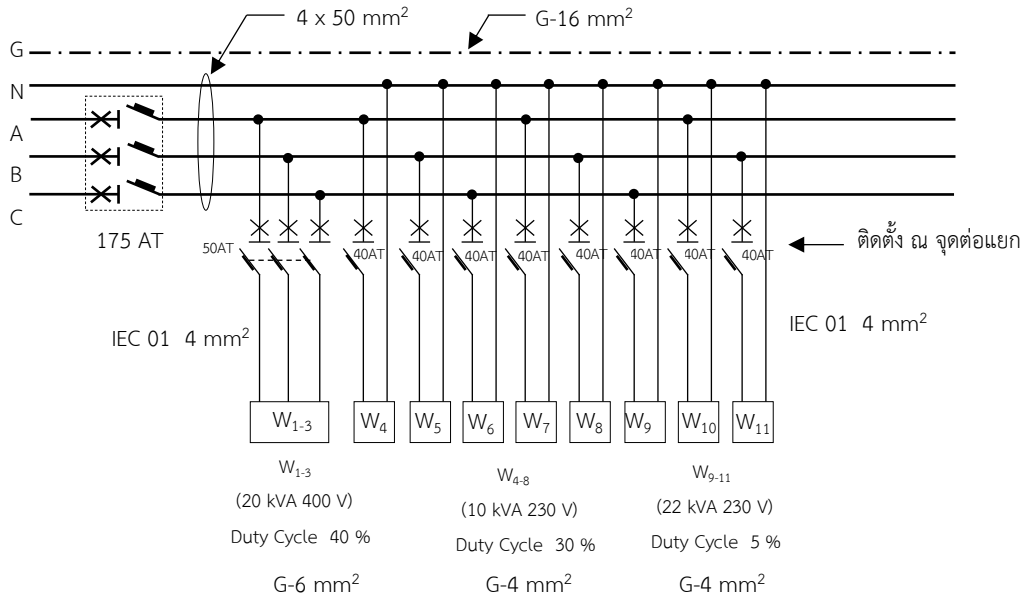
$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 21.04 \leq 42.08 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 40 AT

<u>วงจรสายป้อน</u>

เนื่องจากสายป้อนเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย จ่ายไฟให้กับเครื่องเชื่อมชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส เลือกเฟสที่มีกระแสมากที่สุด คือ เฟส A หรือ B ดังรูปวงจรด้านล่าง มีจำนวน 4 เครื่อง ดังนี้



ขนาดกระแสของสายป้อน ≥ 23.91 + 23.91 + 27.72 + 21.04 = 96.58 A

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 4 x 50 mm^2 (117 A)

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 96.58 \leq 193 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 175 AT และขนาดสายดิน 16 mm^2

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

1. ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง มีส่วนประกอบที่สำคัญอะไรบ้าง

ตอบ ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. เครื่องต้นกำลัง (Engine Prime Mover) คือ เครื่องยนต์ที่ผลิตพลังงานกลเพื่อนำไปฉุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังโหลดที่ต้องการได้

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) หรือเราเรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC. Generator)

3. สวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch**)** มีหน้าที่สับเปลี่ยนแหล่งจ่ายจากแหล่งจ่ายไฟปกติไปยังแหล่งจ่ายไฟสำรอง หรือกลับกัน เพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าใช้อย่าง

2. AC Generator มีส่วนประกอบ และหลักการทำงานอย่างไร

ตอบ AC Generator มีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่หมุน (Rotor) เป็นส่วนสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งมีขดลวดพันรอบรับไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องกระตุ้น (Exciter) เพื่อทำหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ปริมาณสนามแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนรอบขดลวดและกระแสสนามแม่เหล็กในส่วนที่หมุนนี้จะทำให้ได้สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating field) และสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะวิ่งผ่านช่องว่างอากาศ (Air Gap) แล้วไปตัดขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ในส่วนที่อยู่กับที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น

2. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) เป็นส่วนที่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาใช้งาน ซึ่งมีขดลวดพันอยู่ ขดลวดนี้เรียกว่าขดลวดอาร์เมเจอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจากโรเตอร์จะตัดขดลวดสเตเตอร์ ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้น โดยความเร็วรอบจะมีความสัมพันธ์กับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ หาได้จากสูตร

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

เมื่อ n = ความเร็วรอบของโรเตอร์ หน่วย รอบ/นาที (rpm)

f = ความถี่ หน่วย เฮินตซ์ (Hz)

p = จำนวนขั้วแม่เหล็ก หน่วย ขั้ว (Pole)

3. ส่วนสร้างสนามแม่เหล็กกระตุ้น (AC. Exciter) เป็นส่วนที่จ่ายกระแสไฟฟ้าตรงให้ขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตัวเล็กๆ ติดตั้งบนเพลาเดียวกับโรเตอร์ ซึ่งเครื่องกำเนิดตัวเล็กๆ นี้ เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์ในตัวหมุนตัดกับขดลวดสนามบนตัวที่อยู่กับที่ และบนขาออกของขดลวดอาร์เมเจอร์ยังมีชุดตัวเรียงกระแสเต็มคลื่น (Full-Wave Rectifier) ติดอยู่ ดังนั้นไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกเหนี่ยวนำที่ขดลวดอาร์เมเจอร์จะถูกเรียงกระแส และจ่ายเข้าขดลวดสนามของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าโดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องมีแปรงถ่านหรือสลิปริง (Slip Ring) จึงเรียกว่าเครื่องกระตุ้นการหมุนแบบไม่มีแปรง (Brushless Rotating Exciter)

4. ส่วนควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator ; AVR) เป็นชุดควบคุมแรงดันขาออกโดยอัตโนมัติ โดยทำการปรับค่ากระแสสนามแม่เหล็กหมุนเพื่อให้ได้แรงดันคงที่ที่โหลดต่างๆ ทำได้ 2 แบบ คือ แบบกระตุ้นตัวเอง (Self Excited) และแบบกระตุ้นตัวแยก (Separately Excited)

3. ชุด AVR คืออะไร และมีหน้าที่แตกต่างจากชุด VCU อย่างไร

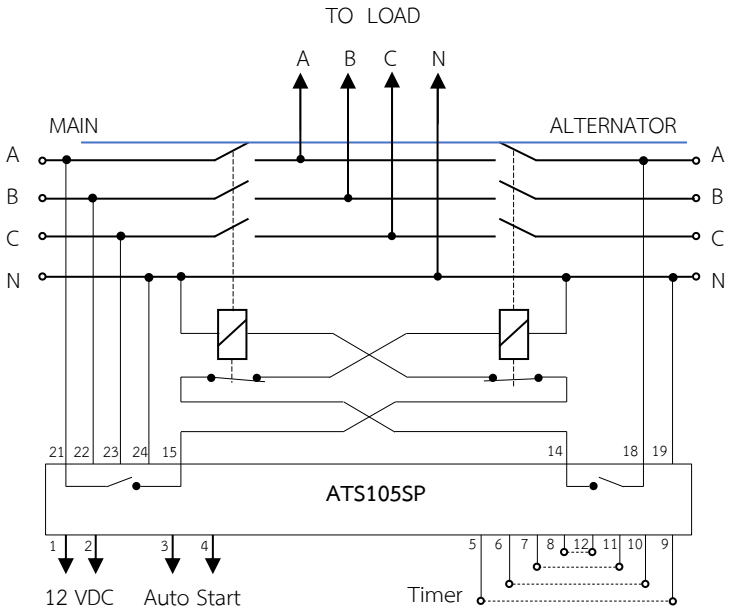
ตอบ AVR (Automatic Voltage Regulator) คือเป็นชุดควบคุมแรงดันขาออกโดยอัตโนมัติ โดยทำการปรับค่ากระแสสนามแม่เหล็กหมุนเพื่อให้ได้แรงดันคงที่ที่โหลดต่างๆ ทำได้ 2 แบบ คือแบบกระตุ้นตัวเอง (Self Excited)และแบบกระตุ้นตัวแยก (Separately Excited) มีหน้าที่แตกต่างจากชุด VCU (Voltage Control Unit) ชุดควบคุมแรงดัน คือ AVR จะเป็นตัวควบคุมสั่งการให้ชุด VCU เพิ่มกระแสกระตุ้นขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่งผลให้ได้แรงดันขาออกมากขึ้น จนได้ค่าแรงดันขาออกที่ต้องการ

4. สวิตช์สับเปลี่ยนแบ่งได้กี่ชนิด อย่างไรบ้าง

ตอบ สวิตช์สับเปลี่ยนแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. สวิตช์สับเปลี่ยนไม่อัตโนมัติ (Non-Automatic Transfer Switch) เป็นสวิตช์สับเปลี่ยนที่ต้องมีเจ้าหน้าที่ควบคุมประจำ เหมาะสำหรับโหลดที่ไม่ต้องการใช้กระแสไฟฟ้าในทันทีทันใด เช่น โหลดไฟฟ้าฉุกเฉินในโรงงานอุตสาหกรรม ในโรงบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2. สวิตช์สับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Automatic Transfer Switch ; ATS) เป็นสวิตช์สับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟโดยอัตโนมัติ กล่าวคือ ATS จะทำการตรวจสอบตลอดเวลาว่าไฟฟ้าที่จ่ายจากการไฟฟ้าฯ ขาดหายไปหรือไม่ เมื่อพบว่าไฟฟ้าขาดหายไปจะส่งสัญญาณให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสตาร์ทเครื่องอัตโนมัติและวิ่งตัวเปล่าไปจนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกได้ตามพิกัดที่ตั้งไว้ ATS จะสับเปลี่ยนโหลดมายังชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และต่อมาหากแรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ กลับมาปกติ ชุดสวิตช์สับเปลี่ยนแบบปิดอัตโนมัติ (Automatic Closed Transition Transfer Switch ; CTTS) จะขนานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับแรงดันไฟฟ้าการไฟฟ้าฯ เมื่อเสร็จแล้วจะสั่งปลดไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกทำให้ไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดไม่ขาดหายไป แล้วส่งสัญญาณให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่อง อย่างไรก็ตามฟังก์ชั่นการขนานไฟฟ้าที่มีในตัว ATS นี้จะมีเสริมบางผู้ผลิตเท่านั้น จะมีหรือหรือไม่มีก็ได้ ถ้าไม่มีจะทำให้ไฟดับเพื่อทำการปลดสับ 2 ครั้ง ซึ่งต้องมีฟังก์ชั่นอินเตอร์ล็อกและหน่วงเวลาด้วย ดังวงจรด้านล่าง



Automatic Transfer Switch (ATS)

5. การหาขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีข้อกำหนดอย่างไร

ตอบ การหาขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะกำหนดจากการวิเคราะห์โหลด (Load Analysis) ว่าเป็นโหลดสภาวะใด โดยอย่างน้อยที่สุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีขนาดใหญ่พอที่จ่ายโหลดขณะสตาร์ทเครื่องได้และจ่ายโหลดต่อเนื่องได้ มีข้อกำหนดแยกได้ 2 กรณีดังนี้

1. โหลดสภาวะอยู่ตัว (Steady State Loading) คือ โหลดทั้งหมดที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องจ่ายให้ โดยรวมโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่จะใช้กับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นหน่วย kVA เช่นเดียวกันกับกรณีหม้อแปลง แต่โดยทั่วไปอุปกรณ์ไฟฟ้าจะให้พิกัดกำลังไฟฟ้าขาออกเป็นหน่วย kW ดังนั้นในการหาโหลดจึงจำเป็นต้องรู้ประสิทธิภาพและตัวประกอบกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ ด้วย เพื่อที่สามารถคำนวณหากำลังขาเข้าเป็น kVA ได้ ซึ่งก็คือโหลดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นเอง เขียนสมการได้ดังนี้

$$kW_{(G)} = \frac{kW_{(o/p)}}{\boldsymbol{\eta}}$$

$$kVA_{(G)} = \frac{kW_{(o/p)}}{PF}$$

เมื่อ

$kW_{(G)}$ = โหลดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หน่วย kW (Running kW)

$kVA_{(G)}$ = โหลดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หน่วย kVA (Running kVA)

$kW_{(o/p)}$ = กำลังพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้า หน่วย kW

$\boldsymbol{\eta}$ = ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า

PF = ตัวประกอบกำลัง

เนื่องจากพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหน่วย kW, kVA และมีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 80 % ล้าหลัง การกำหนดขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดจะต้องนำค่าตัวประกอบกำลังของโหลดมาพิจารณาร่วมด้วย โดยปกติถ้าตัวประกอบกำลังของไหลดมากกว่า 80 % ก็ให้ใช้ค่า kW เป็นตัวกำหนดหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และถ้าน้อยกว่า 80 % ก็ให้ใช้ค่า kVA เป็นตัวกำหนดหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

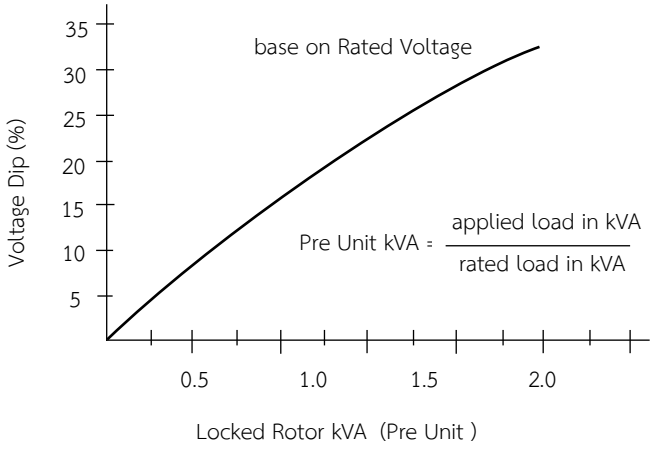
2. โหลดภาวะชั่วครู่ (Transient Loading) เกิดจากในช่วงสตาร์ทของมอเตอร์ไฟฟ้า จะดึงกระแสไฟฟ้าสูงถึง 6 เท่าของกระแสพิกัด โดยกระแสไฟฟ้าสูงนี้ส่งผลทำให้เกิดแรงดันตกวูบ (Voltage Dip) ที่ขั้วทางออกของเครื่องกำเนิด ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสีย คือ ไฟฟ้าสว่างกระพริบ อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์อาจทำงาน มอเตอร์อาจหยุดหมุน หรืออุปกรณ์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสั่งดับเครื่องยนต์ ดังนั้นความต้องการกำลังตอนสตาร์ท Starting kVA (SkVA) จึงเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยรวมกับ kVA ของโหลดอื่นด้วย แล้วจึงนำไปหาขนาดพิกัด $kVA_{(G)}$ ภายใต้เงื่อนไขแรงดันตกวูบไม่เกินค่าที่กำหนด

6. แรงดันตกวูบ (Voltage Dip) เกิดจากอะไร และมีความสัมพันธ์กับค่า Starting kVA อย่างไร

ตอบ แรงดันตกวูบ (Voltage Dip) เกิดจากในช่วงสตาร์ทของมอเตอร์ไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กับค่า Starting kVA คือหากแรงดันตกวูบ (Voltage Dip) ที่ขั้วทางออกของเครื่องกำเนิดมีมาก จะไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ สำหรับค่าแรงดันตกวูบของโหลดต่าง ๆ กันกำหนดได้ดังนี้

- โหลดคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ไวต่อแรงดัน แรงดันตกวูบไม่เกิน 10 %
- โหลดในโรงงานอุตสาหกรรม แรงดันตกวูบไม่เกิน 15-25 %
- โหลดไฟฟ้าแสงสว่าง และโหลดทั่วไป แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 %

Voltage Dip และ Starting kVA โดยทั่วไปจะกำหนดมาจากบริษัทผู้ผลิต เพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรืออาจกำหนดมาในรูปแบบกราฟด้านล่าง



กราฟแสดง Voltage Dip ต่อ Starting kVA

จากรูปกราฟแทนกระแสสตาร์ทมอเตอร์ (SkVA) ด้วย kVA ขณะล็อกโรเตอร์ (Lock Rotor kVA) บนฐานแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่ง ต่อหน่วย (Per Unit) ถ้าต้องการจำกัดแรงดันตกวูบ (Voltage Dip) ที่ค่าหนึ่งๆ ก็อาจหาความสัมพันธ์ของ starting kVA (SkVA) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($kVA_{(G)}$) ได้ดังตารางด้านล่าง

ตารางความสัมพันธ์ของขนาดเครื่องกำเนิดต่อแรงดันตกวูบและค่าความต้องการกำลังตอนสตาร์ท

Voltage Dip (%)	starting kVA (SkVA)
30	2.1 $kVA_{(G)}$
26	1.8 $kVA_{(G)}$
20	1.25 $kVA_{(G)}$
16	1.0 $kVA_{(G)}$
10	0.55 $kVA_{(G)}$

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 200 kVA ต้องการ Voltage Dip ไม่เกิน 20 % ค่า SkVA จะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ

ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 20 % ค่า SkVA = 1.25 $kVA_{(G)}$

SkVA = 1.25 x 200 = 250 SkVA

8. จงคำนวณหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเดินมอเตอร์ขนาด 150 HP ไม่มีรหัสอักษร มี PF= 0.95 เริ่มเดินวิธี Y-Δ กำหนดที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 %

วิธีทำ

มอเตอร์ 150 HP มี PF = 0.95 , η = 92 %, Y-Δ

$$\text{มอเตอร์มี Running kW} = \frac{150 \times 0.746}{0.92} = 121.63 \text{ kW}$$

$$\text{มอเตอร์มี Running kVA} = \frac{121.63}{0.95} = 128 \text{ kVA}$$

มอเตอร์มี Starting kVA = 128 x 2 = 256 SkVA ; Y-Δ

ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 %

$$kVA_{(G)} = \frac{SkVA}{2.1} = \frac{256}{2.1} = 121.90 \ kVA_{(G)}$$

เลือกขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 125 kVA, 100 kW

9. สถานประกอบการแห่งหนึ่งมีโหลดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง ดังนี้

ชุดที่ 1 มอเตอร์ 3 เฟส 400 V 10 HP, PF 0.85 จำนวน 5 ตัว เริ่มเดินแบบ DOL

ชุดที่ 2 มอเตอร์ 3 เฟส 400 V 15 HP, PF 0.86 จำนวน 2 ตัว เริ่มเดินแบบ Y-Δ

ชุดที่ 3 มอเตอร์ 3 เฟส 400 V 200 HP มี PF 0.85 เริ่มเดินแบบ Autotransformer 80 % tap

ชุดที่ 4 ไฟฟ้าแสงสว่าง 3 เฟส 4 สาย 230/400 V 15 kVA, PF 0.85

จงหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้โหลดแต่ละชุด และถ้าใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหญ่ชุดเดียวขนาดเครื่องกำเนิดจะเป็นเท่าใด กำหนดแรงดันตกวูบไม่เกิน 30 % และมอเตอร์ทำงานตามลำดับ

<u>วิธีทำ</u>

ชุดที่ 1 มอเตอร์ 10 HP มี PF = 0.85 , η = 85 %, DOL (จำนวน 5 ตัว)

$$\text{มอเตอร์แต่ละตัวมี Running kW} = \frac{10 \times 0.746}{0.85} = 8.78 \text{ kW}$$

$$\text{มอเตอร์แต่ละตัวมี Running kVA} = \frac{8.78}{0.85} = 10.33 \text{ kVA}$$

มอเตอร์แต่ละตัวเดินไม่พร้อมกัน

มอเตอร์แต่ละตัวมี Starting kVA = 10.33 x 6 = 61.98 SkVA ; DOL

มอเตอร์ 4 ตัวมี Running kVA = 10.33 x 4 = 41.32 kVA

สตาร์มอเตอร์ตัวที่ 5 มี Starting kVA = 41.32 + 61.98 = 103.3 SkVA

รวมมอเตอร์ทั้ง 5 ตัว มี Running kW = 8.78 x 5 = 43.9 kW

ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 % SkVA = 2.1 $kVA_{(G)}$

$$kVA_{(G)} = \frac{SkVA}{2.1} = \frac{103.3}{2.1} = 49.19 \text{ } kVA_{(G)}$$

เลือกขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 50 kVA, 40 kW

ชุดที่ 2 มอเตอร์ 15 HP มี PF = 0.86 , η = 86 %, Y-Δ (จำนวน 2 ตัว)

$$\text{มอเตอร์มี Running kW} = \frac{15 \times 0.746}{0.86} = 13.01 \text{ kW}$$

$$\text{มอเตอร์มี Running kVA} = \frac{13.01}{0.86} = 15.13 \text{ kVA}$$

มอเตอร์มี Starting kVA = 15.13 x 2 = 30.26 SkVA ; Y-Δ
ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 %

$$kVA_{(G)} = \frac{SkVA}{2.1} = \frac{30.26}{2.1} = 14.41\ kVA_{(G)}$$

เลือกขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 15 kVA, 12 kW

ชุดที่ 3 มอเตอร์ 200 HP มี PF = 0.85 , η = 92 %, Autotransformer 80 % tap (จำนวน 1 ตัว)

มอเตอร์มี Running kW = $\frac{200 \times 0.746}{0.92}$ = 162.17 kW

มอเตอร์มี Running kVA = $\frac{162.17}{0.85}$ = 190.79 kVA

มอเตอร์มี Starting kVA = 190.79 x 0.64 = 122.11 SkVA ; Y-Δ
ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 %

$$kVA_{(G)} = \frac{SkVA}{2.1} = \frac{122.11}{2.1} = 58.15\ kVA_{(G)}$$

เลือกขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 70 kVA, 56 kW

ชุดที่ 4 ไฟฟ้าแสงสว่าง 3 เฟส 4 สาย 230/400 V 15 kVA ,PF = 0.85 % (สมมุติให้โหลดสมดูล)
แสงสว่างมีกำลังไฟฟ้า kW = 15 x 0.85 = 12.75 kW
มี Starting kVA = kVA = 15 SkVA
ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 %

$$kVA_{(G)} = \frac{SkVA}{2.1} = \frac{15}{2.1} = 7.14\ kVA_{(G)}$$

เนื่องจาก $kVA_{(G)}$ น้อยกว่าพิกัด kVA จึงเลือก kVA ของโหลดเป็นตัวกำหนด
ขนาดเครื่องกำเนิด เลือก 15 kVA, 12 kW ซึ่งแรงดันตกวูบจะประมาณ 16 %

รวมโหลดทั้งหมดมาเขียนรูปตาราง ได้ดังนี้

LOAD	kW	kVA	SkVA
มอเตอร์ 10 HP	8.78	10.33	61.98
มอเตอร์ 10 HP	8.78	10.33	61.98
มอเตอร์ 10 HP	8.78	10.33	61.98
มอเตอร์ 10 HP	8.78	10.33	61.98
มอเตอร์ 10 HP	8.78	10.33	61.98
มอเตอร์ 15 HP	13.01	15.13	30.26
มอเตอร์ 15 HP	13.01	15.13	30.26
มอเตอร์ 200 HP	162.17	190.79	122.11
แสงสว่าง	12.75	15	15
Total	244.84	287.7	507.53

จากตารางขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดต้องมีไม่น้อยกว่า 244.84 kW หรือ 306.05 kVA ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 % SkVA = 2.1 $kVA_{(G)}$ โดยมอเตอร์ทำงานตามลำดับจะได้

$$kVA_{(G)} = \frac{15 + (10.33 \times 5) + (15.13 \times 2) + 122.11}{2.1} = \frac{219}{2.1} = 182.5\ kVA_{(G)}$$

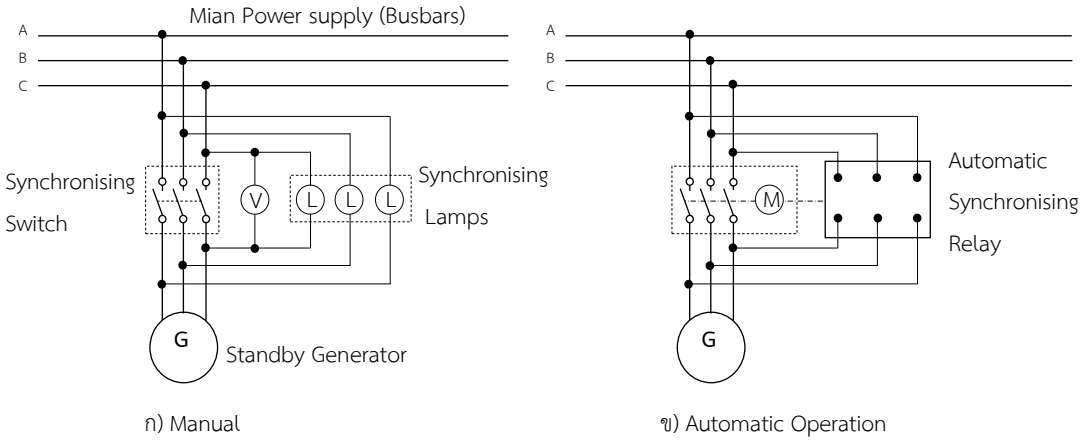
จะได้ขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 250 kVA, 200 kW
แต่เนื่องจากเงื่อนไขขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดต้องมีไม่น้อยกว่า 244.84 kW
เลือกขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ 350 kVA, 280 kW
ส่วนแรงดันตกวูบจะประมาณ 16 % เท่านั้น

10. การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีกี่วิธี อย่างไรบ้าง

ตอบ การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี 2 วิธี คือ

1. แบบใช้มือ (Manual Operation) คือการตรวจเช็คลำดับเฟสด้วยหลอดไฟ (Synchronising Lamps) ซึ่งมีวิธีต่อหลอดไฟได้หลายรูปแบบ ในที่นี้ยกตัวอย่างหนึ่งวิธี ดังวงจรตามรูปด้านล่าง ก) โดยปรับแรงดันและความเร็วของเครื่องกำเนิดให้ได้แรงดันและความถี่เท่ากับการไฟฟ้าฯ สังเกตหลอดไฟฟ้าทั้ง 3 หลอดจะสว่างและมืดพร้อมกัน ถ้าไม่พร้อมกันแสดงว่าลำดับเฟสไม่ถูกต้อง ต้องสลับสายไฟของเครื่องกำเนิด ปรับความเร็วของเครื่องกำเนิดจนหลอดไฟมืดสุด ซึ่งอาจใช้โวลต์มิเตอร์ช่วยวัดดูก็ได้ ถ้าโวลต์มิเตอร์อ่านได้ค่า 0 V จึงค่อยทำการสับสวิทช์ซิงโครไนซ์ (Synchronising Switch) โดยทั่วไปใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ และเพื่อความสะดวกและแม่นยำอาจใช้ซิงโครสโกป (Synchroscope) แทนหลอดไฟก็ได้

2. แบบอัตโนมัติ (Automatic Operation) คือการซิงโครไนซ์แบบอัตโนมัติเหมาะสำหรับงานที่ไม่มีพนักงานประจำอยู่ ระบบนี้จะใช้รีเลย์ซิงโครไนซ์ (Synchronising Relay) แทนหลอดไฟ ดังวงจรตามรูปด้านล่าง ข) เมื่อรีเลย์ซิงโครไนซ์ ตรวจสอบได้ว่าเครื่องกำเนิดมีแรงดัน ความถี่และลำดับเฟส เหมือนกันแล้ว มันจะสั่งให้สับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งการสับเซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องเป็นแบบที่ใช้มอเตอร์ขับ (Motor-Operated)



ก) Manual ข) Automatic Operation

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Standby Generator)

11. การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในห้องเครื่องกำเนิด ต้องมีข้อกำหนดและพิจารณาอะไรบ้างอย่างไร

ตอบ การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในห้องเครื่องกำเนิด ต้องมีข้อกำหนดและพิจารณาดังนี้

1. สถานที่ติดตั้ง (Location) สถานที่หรือห้องติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีข้อพิจารณาที่สำคัญดังนี้

1. โครงสร้างพื้นห้องต้องทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ วัสดุทนไฟ มีความแข็งพอที่จะรับน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือนขณะเดินเครื่องได้

2. ระยะห่างโดยรอบของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรมีอย่างน้อย 2 เมตร และมีระยะห่างโดยรอบอุปกรณ์ทุกชนิดไม่น้อยกว่า 0.75 เมตร เพื่อใช้ในการตรวจสอบ และการบำรุงรักษา ยกเว้น ถังน้ำมัน แบตเตอรี่ และแผงควบคุมที่เข้าถึงทางด้านหน้าได้

3. ห้องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 2.6 เมตร มีแสงสว่างไม่ต่ำกว่า 300 lux และมีไฟฟ้าฉุกเฉินที่ทำงานด้วยแบตเตอรี่ติดตั้งไว้

4.ประตูห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องออกแบบให้เปิดออกข้างนอกเท่านั้น และต้องมีกุณแจเลือก ซึ่งเปิดเข้าได้จากภายนอก ส่วนภายในต้องสามารถเปิดออกได้อิสระ ห้ามใช้กุณแจสายยู

5. ช่องเปิดที่พื้นหรือผนังที่เจาะไว้ เพื่อวางท่อหรือสายเคเบิลจะต้องมีการป้องกันไม่ให้เป็นทางผ่านของ สัตว์ เปลวไฟ ควัน หรือก๊าซ

6. ต้องมีแผนผังไฟฟ้าไว้ในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำเครื่องหมายเตือนอันตราย ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

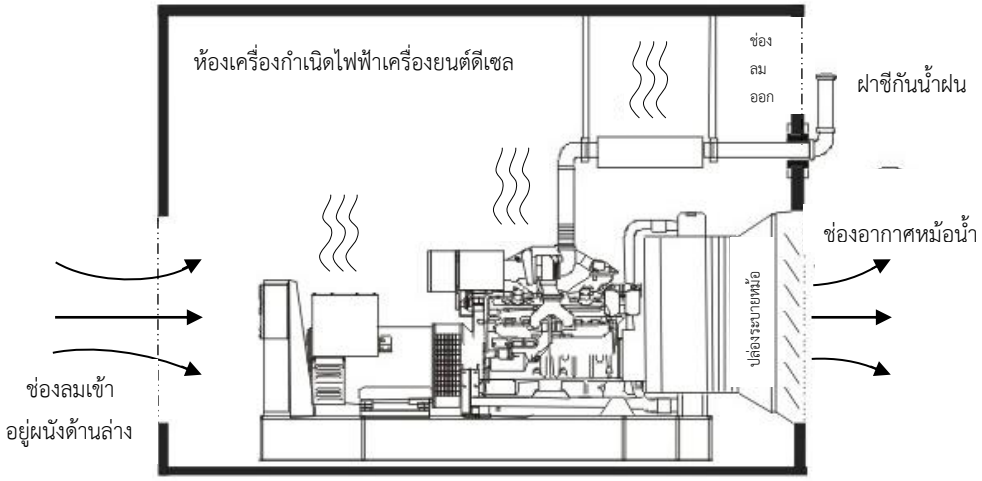
2. ฐานติดตั้ง (Foundation) ต้องสามารถรับน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ทั้งชุด รวมทั้งแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากการสั่นของเครื่อง ควรยกให้สูงจากพื้นอย่างน้อย 0.15 เมตร แท่นรับต้องใหญ่กว่าฐานรับของเครื่องอย่างน้อยด้านละ 0.4 เมตร ปัจจุบันนิยมใช้ฐานเครื่องที่มียาง หรือสปริงรองระหว่างฐานรับกับแท่นเครื่อง เพื่อลดการสั่นสะเทือน

3. การระบายอากาศ (Ventilation) ในที่นี้จะหมายถึงการระบายความร้อนสะสมในห้องเครื่องกำเนิด ส่วนเครื่องกำเนิดที่เป็นเพคเกจผู้ผลิตจะออกแบบระบบระบายความร้อนติดมาด้วยแล้ว การระบายความร้อนสะสมในห้องเครื่องกำเนิดออกมาภายนอกโดยต้องมีช่องลมเข้าอยู่ผนังด้านล่างและช่องลมออกจะอยู่ผนังด้านบน ปกติอากาศจะไหลเวียนจากด้านท้ายไปด้านหน้า ส่วนปริมาณอากาศไหลเวียนต้องเพียงพอและเหมาะสมกับขนาดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งอากาศดีที่ไหลเวียนเข้ามานี้นอกจากทำหน้าที่ระบายความร้อนแล้วยังมีส่วนหนึ่งใช้ในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วย สำหรับระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ ถ้าเป็นชุดเครื่องกำเนิดขนาดใหญ่มีกำลังผลิตมากกว่า 100 kW ใช้น้ำหล่อเย็น และถ้าต่ำกว่า 100 kW ใช้อากาศระบายโดยตรง ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำหล่อเย็นแยกได้ 3 แบบคือ

- เครื่องยนต์ที่ติดพัดลมระบายความร้อนจากรังผึ้งหม้อน้ำ
- เครื่องยนต์ที่มีพัดลมระบายความร้อนจากรังผึ้งหม้อน้ำแยกส่วนต่างหาก
- เครื่องยนต์ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยเครื่องถ่ายเทความร้อนวงจรปิด

ตัวอย่างเครื่องยนต์ที่ติดพัดลมระบายความร้อนจากรังผึ้งหม้อน้ำเท่านั้น ดังรูปด้านล่าง เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่นิยมติดตั้งมากที่สุด ตำแหน่งช่องอากาศของหม้อน้ำจะติดตั้งอยู่ในแนวระดับเดียวกันตำแหน่งรังผึ้งหม้อน้ำ และห่างไม่เกิน 0.2 เมตร หากเกินต้องทำปล่องระบายอากาศ พื้นที่ของปล่องหรือช่องระบายอากาศหม้อน้ำควรจะโตกว่าพื้นที่ด้านหน้าของรังผึ้งหม้อน้ำ กระแสอากาศร้อนที่ระบายออกมาควรมีทิศทางเดียวกันกับลมพัดภายนอกห้อง เพื่อป้องกันการต้านการไหลของอากาศ ถ้าหลีกเลี่ยงการต้านของลมไม่ได้ ให้สร้างกะบังลมห่างปากกล่อง 0.9 เมตร

สำหรับพื้นที่ของช่องอากาศเข้าและออกห้องเครื่องกำเนิดอย่างน้อยที่สุดควรจะเป็น 2 เท่าของขนาดรังผึ้งหม้อน้ำเครื่องยนต์ และควรติดตั้งตระแกรงกันสัตว์และบานเกล็ดกันน้ำฝนทุกช่องระบายอากาศ ทั้งนี้ต้องไม่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของอากาศ



รูปการระบายอากาศห้องเครื่องกำเนิดที่ใช้เครื่องยนต์ที่ติดพัดลมระบายความร้อนจากรังผึ้งหม้อน้ำ

4. เสียงรบกวน (Noise) คือเสียงที่เกิดจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีระดับเสียงมากกว่า 60 dB โดยขึ้นอยู่กับระยะทางและชนิดของเครื่องกำเนิด ดังนั้นเสียงจึงเป็นส่วนสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเลือกชนิดและตำแหน่งติดตั้งด้วย แหล่งกำเนิดเสียงอาจแบ่งได้ 3 ประเภท คือเสียงจากท่อไอเสีย เครื่องจักร และการไหลของอากาศ

1. เสียงจากท่อไอเสีย เสียงในส่วนนี้จะดังมากบริเวณทางออกท่อไอเสีย การติดตั้งท่อไอเสียควรจะสั้นเท่าที่สภาพของสถานที่ติดตั้งจะอำนวยและให้มีจำนวนข้องอให้น้อยที่สุดและต้องเป็นแบบรัศมีความโค้งยาว กรณีท่อไอเสียที่ยาวเกินกว่า 10 เมตร จะต้องเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ขนาดที่เพิ่มขึ้นอยู่กับความยาวของท่อและจำนวนข้องอที่ใช้ด้วย โดยส่วนแรกของท่อไอเสียที่ออกจากท่อร่วมไอเสียควรมีส่วนที่เป็นท่ออ่อนหรือเบลโล ส่วนต่อไปของท่อจะต้องมีที่ยึดเพื่อยอมให้ท่ออ่อนเคลื่อนตัวได้สะดวก ตัวยึดท่อไอเสียต้องเป็นแบบที่ยอมให้ท่อขยายตัวได้หรือเป็นแบบลูกกลิ้ง และมีข้อกำหนดอื่นๆ เพิ่มเติม ดังนี้

1) ปลายท่อไอเสีย (Termination) ควรติดตั้งในตำแหน่งที่ไอเสียไม่ย้อนกลับเข้ามาสู่ห้องเครื่องได้อีก ควรติดตั้งฝาชีกันน้ำฝนไว้ที่ปลายท่อ สำหรับท่อไอเสียที่ยาวมากควรติดตั้งอุปกรณ์ดักน้ำและที่ระบายน้ำทิ้งไว้ใกล้เครื่องยนต์ด้วย

2) ท่อไอเสียที่ยาวต้องติดท่อระงับเสียง (Silencers) เพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด ในระยะประมาณ 3 m. จากปลายท่อ

3) บริเวณท่อรวมไอเสียของเครื่องยนต์ขณะเดินเครื่องเต็มที่จะมีอุณหภูมิสูงมาก ซึ่งผู้ปฏิบัติงานอาจสัมผัสกับท่อไอเสียได้จะต้องมีการหุ้มฉนวนความร้อนที่เหมาะสมหรือใส่การ์ดป้องกัน

4) กรณีที่ต้องเดินท่อไอเสียผ่านทะลุผนังห้อง ควรตีปลอก (Sleeves) ไว้บนผนังหรือเจาะรูผ่านผนังให้โตกว่าท่อไอเสียพอสมควรเพื่อกันการแตกร้าวของผนังและอัคคีภัย และควรติดหน้าแปลนไว้ทั้งสองด้านของผนัง

2. เสียงจากเครื่องจักร เสียงในส่วนนี้สามารถลดได้ เช่น ทำผนังห้องเครื่องด้วยวัสดุลักษณะดูดกลืนเสียง ใช้ฐานเครื่องชนิดลดการสั่นสะเทือน การใช้ระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ชนิดแยกส่วน หรือแบบหล่อเย็นสามารถลดระดับเสียงได้เช่นกัน

3. เสียงจากการไหลของอากาศ เสียงในส่วนนี้จะมีน้อยสุด เกิดจากอากาศไหลเข้าและออกห้องเครื่องเครื่องกำเนิด วิธีการลดเสียงนี้ทำได้โดยติดตั้งเครื่องลดเสียงในช่องระบายอากาศเข้าออก หรือสร้างกรอบโครงตัวถังชนิดเก็บเสียงคลุมชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้ทั้งหมด ซึ่งอาจทำให้เกิดการระบายอากาศที่ไม่ดี มีความดันสูญเสีย ดังนั้นควรพิจารณาให้เกิดความดันสูญเสียน้อยที่สุด

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 12 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1. กำลังไฟฟาในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีกี่ส่วน อะไรบ้าง

ตอบ กำลังไฟฟาในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะมี 3 ส่วน ได้แก่

1. กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) หรือกำลังไฟฟ้าใช้งาน (Active Power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง ใช้แล้วหมดไป สัญลักษณ์ P มีหน่อยเป็น วัตต์ (W) หรือ กิโลวัตต์ (kW)

2. กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (Reactive Power) หรือกำลังไฟฟ้าไร้งาน เป็นกำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก ใช้สะสมแลวจ่ายคืน สัญลักษณ์ Q มีหน่อยเป็น วาร์ (var) หรือ กิโลวาร์ (kvar)

3. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) หรือกำลังไฟฟ้าเสมือน เป็นกำลังไฟฟ้าที่รวมทางเฟสเซอร์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพ ซึ่งปรากฏในรูปของโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ สัญลักษณ์ S มีหน่อยเป็น โวลต์แอมป์ (VA) หรือ กิโลโวลต์แอมป์ (kVA)

2. การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า หมายถึงอะไร และมีประโยชน์อย่างไร

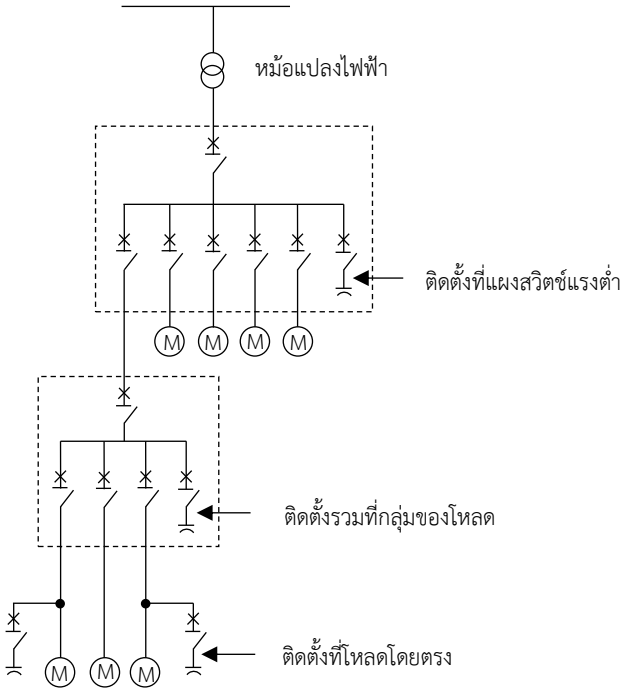
ตอบ การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า หมายถึงการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟาใหมีคาเขาใกล 1 มากที่สุด หมายถึงต้องลดขนาดของกำลังไฟฟ้าจินตภาพ เพื่อใหกำลังไฟฟ้าปรากฏมีขนาดใกลเคียงกับกำลังไฟฟ้าจริง มีประโยชน์ 4 ข้อดังนี้

- ลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย
- ลดค่าแรงดันตก
- ลดค่าไฟฟ้า
- ระบบไฟฟ้ารับโหลดได้เพิ่มขึ้น

3. การติดตั้งคาปาซิเตอร์แรงต่ำสามารถติดตั้งได้กี่ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งมีข้อดีข้อเสียอย่างไร

ตอบ การติดตั้งคาปาซิเตอร์แรงต่ำสามารถติดตั้งได้ 3 ตำแหน่ง ดังรูปด้านล่าง โดยแต่ละตำแหน่งมีข้อดีข้อเสียดังนี้

1. ติดตั้งที่โหลดโดยตรง คือการติดตั้งที่โหลดทุกตัวที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ โดยคาปาซิเตอร์จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจินตภาพให้กับจุดที่ต้องการกำลังไฟฟ้านี้ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าได้มาก และยังทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหลดดีขึ้นด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญที่สามารถติดตั้งคาปาซิเตอร์ได้โดยตรงได้แก่ มอเตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องเชื่อม และหลอดบรรจุก๊าซ ในที่นี้จะกล่าวถึงโหลดที่เป็นมอเตอร์เท่านั้นเนื่องจากมีใช้งานทั่วไป โดยการต่อคาปาซิเตอร์ใช้งานอาจตัดต่อร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมของมอเตอร์ได้โดยตรง การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่โหลดโดยตรงนี้จะต้องใช้คาปาซิเตอร์จำนวนมาก อาจทำให้ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูง เพราะโหลดบางตัวอาจไม่ได้ใช้งานตลอดเวลาก็ต้องติดคาปาซิเตอร์ไว้ด้วย

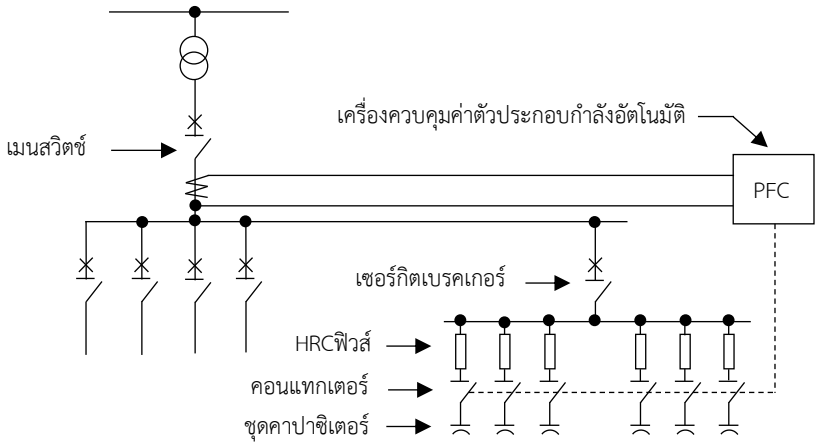


ตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์

2. ติดตั้งที่กลุ่มของโหลด คือการแบ่งโหลดออกเป็นกลุ่มๆ แล้วติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ตัวเดียวที่แต่ละกลุ่มนั้น โดยทั่วไปเหมาะสำหรับกลุ่มโหลดที่ทำงานพร้อมกัน เช่น กลุ่มมอเตอร์ขนาดเล็กทำงานร่วมกันในกระบวนการผลิต กลุ่มควงโคมหลอดไฟฟ้าใช้ก๊าซ เป็นต้น แต่ในทางปฏิบัติหากกลุ่มโหลดไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ควรลดขนาดของคาปาซิเตอร์ลง โดยมีค่าดีมานด์แฟกเตอร์ที่เกี่ยวข้องของกลุ่มโหลดนั้นๆ มาช่วยคำนวณ การติดตั้งตำแหน่งนี้จะลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและลดแรงดันตกในสายได้ส่วนหนึ่งเท่านั้น แต่มีข้อดีตรงที่ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีแรก

3. ติดตั้งรวมที่แผงสวิตช์แรงต่ำ คือการติดตั้งคาปาซิเตอร์รวมไว้ที่แผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB) โดยการแบ่งคาปาซิเตอร์ออกเป็นหลายๆ ชุด แต่ละชุดถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ (Power Factor Controller ; PFC) ดังรูปด้านล่าง โดยจะทำหน้าที่สั่งสับ-ปลด คาปาซิเตอร์เข้า-ออกจากวงจรเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ได้ตามต้องการ การติดตั้งวิธีนี้สามารถควบคุมค่าตัวประกอบกำลังของทั้งระบบทำได้สะดวก การใช้งานคาปาซิเตอร์ได้เต็มที่ตามความต้องการของโหลด การติดตั้งสะดวกและประหยัด แต่จะได้ประโยชน์จากการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าน้อยกว่าสองวิธีแรก ชุดควบคุมตัวประกอบกำลังอัตโนมัติประกอบไปด้วย

1. คาปาซิเตอร์หลายชุดต่อขนานกัน
2. เครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ (PFC)
3. คอนแทกเตอร์หรือไทริสเตอร์
4. เครื่องป้องกันกระแสเกิน (ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์)



การติดตั้งชุดเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ (PFC) ที่แผงสวิตช์แรงต่ำ

4. โรงงานแห่งหนึ่งใช้ไฟระบบ 3 เฟส 4 สาย 230/400 V อ่านค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าจริงจากมิเตอร์ได้ 900 A และ 400 kW ตามลำดับ จงหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ของโรงงานแห่งนี้

<u>วิธีทำ</u>

$$\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 900}{1{,}000} = 623.54 \text{ kVA}$$

$$\text{ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์} = \frac{400}{623.54} = 0.64 \quad \text{หรือ} \quad 64\ \%$$

5. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 400 V ขนาด 15 kW ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.85 ต้องการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 จะต้องหาตัวคาปาซิเตอร์ขนาดเท่าใดมาต่อขนานกับมอเตอร์

<u>วิธีทำ</u>

ค่าตัวประกอบกำลังมอเตอร์ = 0.85

จะได้ $\theta_1 = \cos^{-1} 0.70 = 31.79^\circ$

$\tan 31.79^\circ = 0.62$

ต้องการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95

จะได้ $\theta_2 = \cos^{-1} 0.85 = 18.19^\circ$

$\tan 18.19^\circ = 0.33$

ขนาดของคาปาซิเตอร์เป็น kvar

$$Ckvar = kW (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$Ckvar = 15 (0.62 - 0.33)$$

$$= 4.35 \text{ kvar}$$

ขนาดความจุไฟฟ้าของตัวคาปาซิเตอร์ เป็น μF

$$C_{\text{3 เฟส}} = \frac{\text{kvar} \times 10^9}{6 \times \pi \times f \times V^2}$$

$$C_{\text{3 เฟส}} = \frac{4.35 \times 10^9}{6 \times 3.14 \times 50 \times 450^2}$$

$$= 22.80 \ \mu\text{F} \text{ (แรงดันระบุที่ตัวคาปาซิเตอร์ 450 V)}$$

6. โรงงานมีโหลด 800 kVA ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.80 ล้าหลัง ถ้าต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 จงหาขนาดของคาปาซิเตอร์ โดยวิธีการคำนวณ และวิธีใช้ตาราง

<u>วิธีทำ</u> *วิธีการคำนวณ*

กำลังไฟฟ้าจริง = 800 x 0.80 = 640 kW

ค่าตัวประกอบกำลังปัจจุบัน = 0.75

จะได้ $\theta_1 = \cos^{-1} 0.80 = 36.87^\circ$

$\tan 36.87^\circ = 0.75$

ต้องการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95

จะได้ $\theta_2 = \cos^{-1} 0.90 = 18.19^\circ$

$\tan 18.19^\circ = 0.33$

ขนาดของคาปาซิเตอร์เป็น kvar

$$Ckvar = kW (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$Ckvar = 640 (0.75 - 0.33)$$

$$= 268.8 \text{ kvar}$$

วิธีใช้ตาราง จากตารางที่ 12.1 (หนังสือประกอบการเรียน) ค่า PF ปัจจุบันเท่ากับ 0.80 จากจุดนี้เลื่อนไปตามแกนแนวนอน ที่ค่า PF ที่ต้องการ 0.95 จะได้ค่าคงที่เท่ากับ 0.421

$$Ckvar = 640 \times 0.421 \text{ kvar}$$

$$= 269.44 \text{ kvar}$$

ขนาดคาปาซิเตอร์ที่คำนวณได้อาจไม่ตรงกับขนาดมาตรฐานของคาปาซิเตอร์ตามท้องตลาด สามารถเลือกค่าที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าก็ได้ ตามความเหมาะสม

7. ชุดคาปาซิเตอร์ขนาด 200 kvar 450 V ถ้านำไปใช้กับแรงดัน 400 V ขนาดของคาปาซิเตอร์จะเปลี่ยนไปเป็นขนาดเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

$$kvar_2 = kvar_1 \times \left[\frac{V_2}{V_1}\right]^2$$

$$= 200 \times \left[\frac{400}{450}\right]^2$$

$$= 158 \text{ kvar}$$

8. สายป้อน 3 เฟส 4 สาย โหลดต้องการกระแส 80 A ตัวประกอบกำลัง 0.70 ใช้สายไฟฟ้าขนาด 50 mm^2 ความยาว 100 เมตร กำหนดให้ค่าความต้านทานของสายไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.4691 mΩ/เมตร ที่ 70 °C ถ้าปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.85 จงคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าที่ลดลง

<u>วิธีทำ</u>

จากสมการ

$$\%\ Cond_{loss} = \left\{1 - \left[\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}\right]^2\right\} \times 100$$

$$= \left\{1 - \left[\frac{0.70}{0.85}\right]^2\right\} \times 100$$

$$= 32.18\ \%$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อนปรับค่าตัวประกอบกำลัง ได้ดังนี้

$$P_{load\ (3\ เฟส)} = 3I^2R$$

$$= 3 \times 80^2 \times 0.4691 \times 10^{-3} \times 100$$

$$= 900.67 \text{ วัตต์}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงหน่วยวัตต์ $= 900.67 \times 32.18\ \%$

$$= 289.84 \text{ วัตต์}$$

9. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 315 kVA มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด 3900 W จ่ายโหลด 200 kVA ตัวประกอบกำลัง 0.80 โดยใช้สายไฟฟ้าขนาด 300 mm^2 ความยาว 30 เมตร กำหนดให้ค่าความต้านทานของสายไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.062 mΩ/เมตร ถ้าปรับปรุงตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 จงหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าและหม้อแปลงที่ลดลง

<u>วิธีทำ</u>

เมื่อใช้งานหม้อแปลงแค่ 200 kVA

มีกระแสเท่ากับ $I_L = (200 \times 1000)/(\sqrt{3} \times 400) = 288.68$ A

มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหม้อแปลงเท่ากับ

$$Cu_{loos} = Cu_{loos,FL} \times \left[\frac{kVA_{work}}{kVA_{Rated}} \right]^2$$

$$= 3{,}900 \times \left[\frac{200}{315} \right]^2$$

$$= 1{,}572 \text{ w}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหม้อแปลงลดลงเมื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังเป็น 0.95

$$Tr_{loss} = Cu_{loos} \times \left\{ 1 - \left[\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right]^2 \right\}$$

$$= 1{,}572 \times \left\{ 1 - \left[\frac{0.80}{0.95} \right]^2 \right\}$$

$$= 457.23 \text{ w}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้า หาได้จากสมการ

$$\%\ Cond_{loss} = \left\{ 1 - \left[\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right]^2 \right\} \times 100$$

$$= \left\{ 1 - \left[\frac{0.80}{0.95} \right]^2 \right\} \times 100$$

$$= 29.09\ \%$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าก่อนปรับค่าตัวประกอบกำลัง

$$P_{load\ (\ 3\ เฟส\ )} = 3I^2R$$

$$= 3 \times 288.68^2 \times 0.062 \times 10^{-3} \times 30$$

$$= 465 \text{ วัตต์}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าลดลง = 465 x 29.09 %

= 135.27 วัตต์

10. หม้อแปลงระบบจำหน่าย 3 เฟส 4 สาย 22 kV/230-400 V พิกัด 1000 kVA , Z = 6 % กำหนดให้หม้อแปลงใช้งานเต็มพิกัด จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงหลังจากติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด 350 kvar ขนานเข้าไปในระบบไฟฟ้า 400 V สายไฟฟ้ามีรีแอกแตนซ์ 0.008 Ω

<u>วิธีทำ</u>

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่สายไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\%\ V_{\text{ที่เพิ่มขึ้น}} = \frac{\text{kvar} \times X_L}{10 \times \text{kV}^2}$$

$$= \frac{350 \times 0.008}{10 \times 0.4^2}$$

$$= 1.75\ \%$$

2. ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่หม้อแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\%\ V_{\text{ที่เพิ่มขึ้น}} = \frac{\text{kvar} \times X_{TR}}{\text{kVA}}$$

$$= \frac{350 \times 6}{1000}$$

$$= 2.1\ \%$$

แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นรวม = 1.75 + 2.1 = 3.85 %

หรือ = 400 x 3.85 % = 15.4 V

11. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 250 kVA จ่ายโหลดเต็มพิกัดผ่านสายไฟเส้นหนึ่งขนาด 360 A ค่าตัวประกอบกำลัง 0.75 ถ้าปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.85 จงหาว่าหม้อแปลงจะมีกำลังไฟฟ้าเหลือเพื่อรับโหลดเพิ่มได้อีกเท่าใด และสายไฟเส้นนี้จะสามารถรองรับกระแสได้เพิ่มอีกเท่าไหร่

<u>วิธีทำ</u>

กำลังไฟฟ้าจริง = 250 x 0.75 = 187.5 kW

เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแล้ว ค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงที่หม้อแปลงเท่ากับ

$$kVA_{TR} = kW \times \left[\frac{1}{\cos \theta_1} - \frac{1}{\cos \theta_2} \right]$$

$$= 187.5 \times \left[\frac{1}{0.75} - \frac{1}{0.85} \right]$$

$$= 29.41\ \text{kVA}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงที่หม้อแปลงเท่ากับ 29.41 kVA นี้ หมายถึงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่เหลือจากหม้อแปลงเพื่อรับโหลดเพิ่มได้อีก

ขนาดกระแสที่ลดลงเทียบกับกระแสก่อนปรับปรุง หาได้จากสมการ

$$I_2 = I_1 \times \left\{ 1 - \left[\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right] \right\}$$

$$I_2 = 360 \times \left\{ 1 - \left[\frac{0.75}{0.85} \right] \right\}$$

$$= 42.35 \text{ A}$$

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ลดลงจากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังนี้ หมายถึงสามารถรองรับกระแสได้เพิ่มอีก 42.35 A นั้นเอง ทั้งนี้ให้พิจารณาขนาดของสายไฟฟ้าด้วย

12. มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 50 HP 3 เฟส 400 V 50 Hz มีค่ากระแสพิกัด 69 A เริ่มเดินแบบสตาร์-เดลตาวัดกระแสเมื่อไม่มีโหลด 18 A ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.85 จงหาขนาดคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมกับมอเตอร์นี้หน่วยไมโครฟารัด (μF) พร้อมหาขนาดความต้านทานคายประจุ และกำหนดขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

<u>วิธีทำ</u>

จากสมการ

$$\text{Ckvar}_{\text{3 เฟส}} \leq \frac{0.9 \times \sqrt{3} \times V \times I_{L\,(\text{no load})}}{1000}$$

$$\text{Ckvar}_{\text{3 เฟส}} \leq \frac{0.9 \times \sqrt{3} \times 400 \times 18}{1000}$$

$$\text{Ckvar}_{\text{3 เฟส}} \leq 11.22 \text{ kvar}$$

เลือกใช้คาปาซิเตอร์ขนาดที่มีขายตามท้องตลาดคือ 10 kvar 400 V

และใช้ตัวคาปาซิเตอร์หน่วยเป็น ไมโครฟารัด (μF) ได้ดังนี้

จากสมการ

$$\text{kvar}_{\text{3 เฟส}} = \frac{6 \times \pi \times f \times C \times V^2}{10^9}$$

$$C = \frac{\text{kvar}_{\text{3 เฟส}} \times 10^9}{6 \times \pi \times f \times V^2}$$

$$C = \frac{10 \times 10^9}{6 \times 3.14 \times 50 \times 400^2} = 66.35 \ \mu F$$

โดย V = แรงดันที่ระบุที่ตัวคาปาซิเตอร์ หน่วย โวลต์ (V)

เลือกใช้ตัวคาปาซิเตอร์ขนาด 66.35 μF 400 V และหาขนาดความต้านทานคายประจุ ต้องมีการคายประจุแรงดันลดลงเหลือไม่เกิน 75 V ภายในเวลา 3 นาที นับจากเวลาปลด และตามมาตรฐาน IEC คาปาซิเตอร์สามารถรับแรงดันได้ไม่เกิน 1.1 เท่าของแรงดันที่ระบุที่ตัวคาปาซิเตอร์ หาได้จากสมการ

$$V_o = 1.1 \times \sqrt{2} \times V_{rms} \times e^{-t/RC}$$
$$75 = 1.1 \times \sqrt{2} \times 400 \times e^{-180/RC}$$

$$\log 75 = \log 622.3 - \frac{180}{RC} \log e$$

$$1.8751 = 2.7940 - \frac{180}{RC} (0.4343)$$

$$RC = 85.07 \ \Omega$$

จากตัวคาปาซิเตอร์ขนาด 66.35 μF $= 66.35 \times 10^{-6}$ F

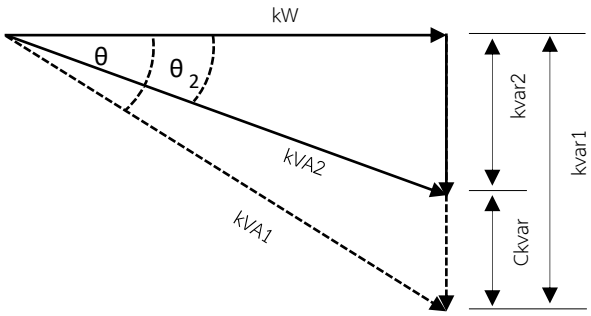
$$R = \frac{85.07}{66.35 \times 10^{-6}} = 1{,}282 \ k\Omega$$

เลือกใช้ความต้านทานคายประจุขนาด 1,300 kΩ ; หาขนาดวัตต์ตามมาตรฐาน IEC

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(1.1 \times 400)^2}{1{,}300{,}000} = 0.15 \ W$$

ดังนั้นเลือกใช้ความต้านทานคายประจุขนาด 1,300 kΩ, 0.5 W

หาค่าตัวประกอบกำลังของวงจรเมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์แล้ว ได้ดังนี้



จากสมการ

$$kW = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta_1}{1000}$$

$$kW = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 69 \times 0.85}{1000}$$

$$kW = 40.63 \text{ kW}$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} 0.85 = 31.79^\circ$$

$$kvar1 = kW \times \tan \theta_1 = 40.63 \times 0.62 = 25.19 \text{ kvar}$$

$$kvar2 = kvar1 - Ckvar = 25.19 - 10 = 15.19 \text{ kvar}$$

$$kVA2 = \sqrt{40.63^2 + 15.19^2} = 43.38 \text{ kVA}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{40.63}{43.38} = 0.94$$

การปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

ก่อนการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

$$OL_{เดิม} = \frac{69}{\sqrt{3}} = 39.84$$

หลังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

$$OL_{ใหม่} = OL_{เดิม} \times \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} = 39.84 \times \frac{0.85}{0.94} = 36.03 \text{ A}$$

หรืออาจคำนวณได้จากกระแสเมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแล้ว ดังนี้

$$I = \frac{kVA2 \times 1000}{\sqrt{3} \times V} = \frac{43.38 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 62.61 \text{ A}$$

$$OL_{ใหม่} = \frac{62.61}{\sqrt{3}} = 36.15 \text{ A}$$

13. จากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าของโรงแห่งหนึ่ง มีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 800 kW และมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ 500 kvar ต้องการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95 โดยต่อผ่านเครื่อง PFC ชนิด 6 ขั้น หม้อแปลงกระแสมีอัตราส่วน 500/5 A กำหนดให้เปอร์เซ็นต์กระแสของคาปาซิเตอร์ในแต่ละขั้นเท่ากับ 0.65 จงหาขนาดคาปาซิเตอร์ ขนาด HRC ฟิวส์ ขนาดคอนแทกเตอร์ และขนาดของสายไฟฟ้าของวงจรคาปาซิเตอร์แต่ละขั้นและสายป้อน พร้อมกำหนดขนาดปรับตั้งค่า C/K (วาดแผนภาพประกอบ)

<u>วิธีทำ</u>

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด = 800 kW

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ = 500 kvar

ค่าตัวประกอบกำลัง

$$\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ (S)} = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$= \sqrt{800^2 + 500^2}$$

$$= 943.4 \text{ kVA}$$

$$\text{ค่าตัวประกอบกำลัง} = \frac{P}{S} = \frac{800}{943.4}$$

$$= 0.85$$

ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังจากปัจจุบัน 0.85 ให้เป็น 0.95

$$\theta_1 = \cos^{-1} 0.85 = 31.79^\circ$$

$$\tan \theta_1 = 0.62$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} 0.95 = 18.20^\circ$$

$$\tan \theta_2 = 0.33$$

ขนาดของคาปาซิเตอร์เป็น kvar $= kW (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$

$= 800 (0.62 - 0.33)$

$= 232$ kvar

ขนาดคาปาซิเตอร์แต่ละขั้น $= \frac{232}{6} = 38.67$ kvar

เลือกใช้คาปาซิเตอร์ขนาดแต่ละขั้นเป็น 40 kvar ตรงกับที่มีขายในท้องตลาดแต่ผลที่ได้จะแตกต่างกันอยู่บ้าง จะหา C/K ได้ดังนี้

$$C/K = \frac{m \times Q \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times K}$$

$$= \frac{0.65 \times 40 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400 \times (500/5)}$$

$$= 0.36$$

กระแสของวงจรคาปาซิเตอร์แต่ละชุด

$$I_{C\ (3\ เฟส)} = \frac{40 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 57.74\ A$$

ขนาด HRC ฟิวส์แต่ละชุด

$I_{FUSE} = 1.65 \times I_C$

$= 1.65 \times 57.74 = 95.27$ A ; เลือก 100 A

ขนาดคอนแทกเตอร์แต่ละชุด

$I_{DISC} \geq 1.35 \times I_C$

$\geq 1.35 \times 57.74 = 77.95$ A ; เลือก 60 kvar , AC-6b

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละชุด

$I_{COND} \geq 1.35 \times I_C$

$\geq 1.35 \times 57.74 = 77.95$ A ; เลือก 3 x 35 mm^2, G - 10

กระแสของวงจรคาปาซิเตอร์สายป้อน

$$I_{C\ (3\ เฟส)} = \frac{40 \times 6 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 346.41\ A$$

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์สายป้อน

I_{CB} = 1.50 x I_C

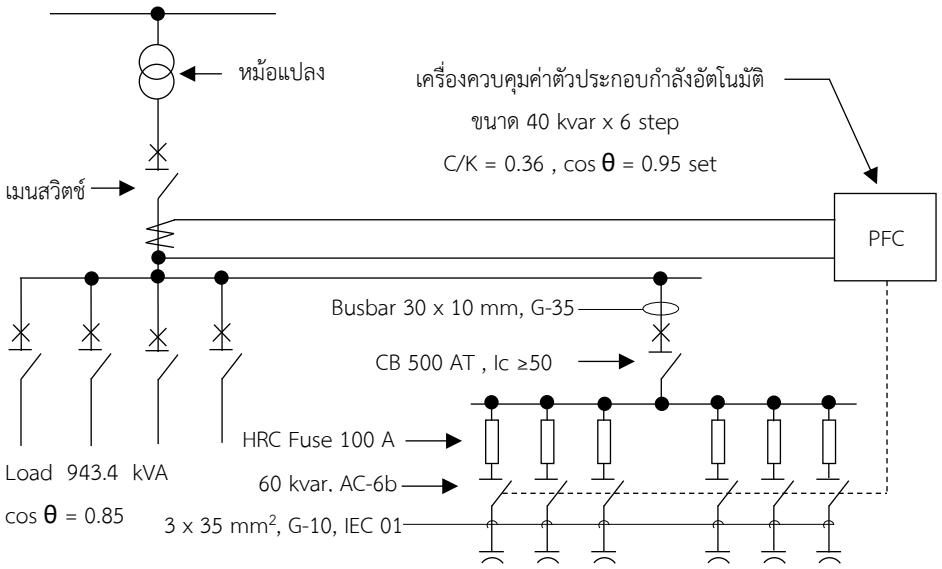
= 1.50 x 346.41 = 519.62 A ; เลือก 500 AT , Ic ≥50 kA

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าสายป้อน (หรือบัสบาร์)

I_{COND} ≥ 1.35 x I_C

≥ 1.35 x 346.41 = 467.65 A ; เลือกบัสบาร์ 30 x 10 mm , G - 35

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



14. โรงงานแห่งหนึ่งใช้หม้อแปลงขนาด 1250 kVA อิมพีแดนซ์ 6 % ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังผ่านเครื่อง PFC จงกำหนดจำนวนขั้น และขนาดของคาปาซิเตอร์ขั้นโตสุดที่ยอมรับได้ กำหนดแต่ละขั้นใช้คาปาซิเตอร์ขนาดเท่ากัน

<u>วิธีทำ</u>

ขั้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ที่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันขณะปลดและสับชุดคาปาซิเตอร์ คือไม่เกินร้อยละ 0.3 ของแรงดันไฟฟ้าในระบบ สามารถหาหาได้จากสมการ

$$\Delta kvar = \frac{0.003 \times kVA}{\% Zk}$$

$$\Delta kvar = \frac{0.003 \times 1250}{0.06} = 62.5 \text{ kvar}$$

ขนาดคาปาซิเตอร์ขั้นโตสุดไม่ควรเกิน 62.5 kvar

ขนาดของคาปาซิเตอร์คิดจาก 30 % ของพิกัดหม้อแปลง จะได้

$$kvar_{CAP} = 0.3 \times kVA_{TR}$$

$$= 0.3 \times 1250 = 375$$

$$\text{จำนวนขั้น} = \frac{375}{62.5} = 6$$

เลือกใช้คาปาซิเตอร์ที่มีจำหน่ายแต่ละขั้นเท่ากับ 60 kvar จำนวน 6 ขั้น ผลที่ได้จะแตกต่างกันอยู่บ้างเล็กน้อย

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 13 การออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงาน

1. วงจรสายป้อนจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้านล่างนี้ จงหาขนาดวงจรย่อยและวงจรสายป้อน

มอเตอร์อัดน้ำยา 3 เฟส 400 V ขนาด 20 HP จำนวน 1 ตัว

มอเตอร์พัดลม 3 เฟส 400 V ขนาด 2 HP จำนวน 4 ตัว

มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ 1 เฟส 230 V ขนาด 1.5 HP จำนวน 5 ตัว

ฮิตเตอร์ 1 เฟส 230 V ขนาด 3000 W จำนวน 8 ตัว

มอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟส 400 V ขนาด 5 HP จำนวน 2 ตัว

มอเตอร์ปั๊มน้ำซัพเมอส 1 เฟส 230 V ขนาด 2 HP จำนวน 2 ตัว

โคมไฟฟ้า FL 2 x 36 W จำนวน 16 ชุด

เต้ารับใช้งานทั่วไป จำนวน 15 จุด

<u>วิธีทำ</u>

1. **ขนาดวงจรย่อย**

<u>โคมไฟฟ้า</u> FL 2 x 36 W จำนวน 16 ชุด แบ่งขนาดวงจรย่อยได้ 3 วงจรค่าดังแสดงตารางโหลด

<u>เต้ารับใช้งานทั่วไป</u> จำนวน 15 จุด แบ่งขนาดวงจรย่อยได้ 3 วงจรค่าดังแสดงตารางโหลด

<u>ฮิตเตอร์</u> 1 เฟส 230 V ขนาด 3000 W จำนวน 8 ตัว แบ่งตัวละ 1 วงจรค่าดังแสดงตารางโหลด

<u>มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ</u> 1 เฟส 230 V ขนาด 1.5 HP จำนวน 5 ตัว แบ่งตัวละ 1 วงจร

<u>มอเตอร์ปั๊มน้ำซัพเมอส</u> 1 เฟส 230 V ขนาด 2 HP จำนวน 2 ตัว แบ่งตัวละ 1 วงจร

<u>มอเตอร์อัดน้ำยา</u> 3 เฟส 400 V ขนาด 20 HP จำนวน 1 ตัว (Star-Delta Starting) ขนาดวงจรย่อยดังนี้

$$\text{โหลด VA ต่อเฟส} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 28}{3} = 6{,}466 \text{ VA}$$

ขนาดกระแสสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม $\geq 1.25 \times 28 \geq 35$ A

เลือกสายเส้นไฟขนาด 3 x 10 mm^2 (44 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ $\geq 1.25 \times (28/\sqrt{3}) \geq 20.21$ A

เลือกสายเส้นไฟขนาด 6 x 6 mm^2 (31 A) *ในช่องเดินสายเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ $\leq 2.5 \times 28 \leq 70$ A

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 50 AT

ขนาดเครื่องควบคุม $\geq 15 \text{ kW}/\sqrt{3} \geq 8.66$ kW

เลือกคอนแทกเตอร์ชนิด AC–3 ขนาด 11 kW

ขนาดสายดินเลือกตามพิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 100 % = 28 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 4 mm^2

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน $= 28/\sqrt{3} = 16.17$ A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 15 – 21 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 25 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 25 mm

<u>*มอเตอร์พัดลม*</u> 3 เฟส 400 V ขนาด 2 HP จำนวน 4 ตัว (Direct on Line Starting) ขนาดวงจรย่อยและสายป้อนดังนี้

$$\text{โหลด VA ต่อเฟส} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 3.4 \times 4}{3} = 3{,}141 \text{ VA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงตัวมอเตอร์แต่ละตัว $\geq 1.25 \times 3.4 \geq 4.25$ A

เลือกสายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) *ในช่องเดินสายเดียวกัน*

ขนาดเครื่องควบคุม $\geq 1.5/\sqrt{3} \geq 0.87$ kW

เลือกคอนแทกเตอร์ชนิด AC–3 ขนาด 4 kW

ขนาดสายดินเลือกตามพิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 100 % = 3.4 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 2.5 mm^2

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 3.4 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 2.8 – 4.0 A

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์แต่ละตัว $\leq 2.5 \times 3.4 \leq 8.5$ A ; ได้ขนาด 6 AT

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อนเป็นตัวป้องกันวงจรย่อยด้วย ดังนี้

$$I_{CB,F} = I_{CB,MAX} + \sum I_M$$

$$I_{CB,F} = 6 + (3.4 \times 3) = 16.2 \text{ A}$$

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 20 AT ใช้สายดินขนาด 2.5 mm^2

ขนาดกระแสสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันสายป้อนถึงเครื่องควบคุม ดังนี้

$$I_F \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum I_M$$

$$I_F \geq (1.25 \times 3.4) + (3.4 \times 3) \geq 14.45 \text{ A}$$

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) สายนิวทรัลเท่ากับเส้นไฟ

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 15 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 15 mm

<u>*มอเตอร์ปั๊มน้ำ*</u> 3 เฟส 400 V ขนาด 5 HP จำนวน 2 ตัว (Direct on Line Starting) ขนาดวงจรย่อยและสายป้อนดังนี้

$$\text{โหลด VA ต่อเฟส} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 7.4 \times 2}{3} = 3{,}418 \text{ VA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงตัวมอเตอร์แต่ละตัว $\geq 1.25 \times 7.4 \geq 9.25$ A

เลือกสายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) *ในช่องเดินสายเดียวกัน*

ขนาดเครื่องควบคุม ≥ 3.7/√3 ≥ 2.14 kW

เลือกคอนแทกเตอร์ชนิด AC–3 ขนาด 4 kW

ขนาดสายดินเลือกตามพิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 100 % = 7.4 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 2.5 mm^2

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 7.4 A

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 7.5 – 11 A

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์แต่ละตัว ≤ 2.5 x 7.4 ≤ 18.5 A ; ได้ขนาด 16 AT

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อนเป็นตัวป้องกันวงจรย่อยด้วย ดังนี้

$$I_{CB,F} = I_{CB,MAX} + \sum I_M$$

$$I_{CB,F} = 16 + 7.4 = 23.4 \text{ A}$$

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 25 AT ใช้สายดินขนาด 4 mm^2

ขนาดกระแสสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันสายป้อนถึงเครื่องควบคุม ดังนี้

$$I_F \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum I_M$$

$$I_F \geq (1.25 \times 7.4) + 7.4 \geq 16.65 \text{ A}$$

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) สายนิวทรัลเท่ากับเส้นไฟ

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 15 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 15 mm

เขียนตารางโหลดได้ดังนี้

FEEDER SCHEDULE

Form MDB LOCATION Room Control

busbar 200 A 3 phaes 4 wire 30 ckt

วงจร	รายการโหลด	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและ ท่อร้อยสาย
		A	B	C	ขั้ว	AT	AF	
1	โคมไฟฟ้า 1	1,200			1	10	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 in PVC ø 15 mm
3	โคมไฟฟ้า 2		1,000		1	10	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 in PVC ø 15 mm
5	โคมไฟฟ้า 3			1,000	1	10	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 in PVC ø 15 mm
2	เต้ารับใช้งานทั่วไป 1	900			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
4	เต้ารับใช้งานทั่วไป 2		900		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
6	เต้ารับใช้งานทั่วไป 3			900	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
7	ฮีตเตอร์ 1	3,000			1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
9	ฮีตเตอร์ 2		3,000		1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
11	ฮีตเตอร์ 3			3,000	1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
8	ฮีตเตอร์ 4	3,000			1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
10	ฮีตเตอร์ 5		3,000		1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
12	ฮีตเตอร์ 6			3,000	1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
13	ฮีตเตอร์ 7	3,000			1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
15	ฮีตเตอร์ 8		3,000		1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
17	มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ 1			2,208	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
14	มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ 2	2,208			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
16	มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ 3		2,208		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
18	มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ 4			2,208	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
19	มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ 5	2,208			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
21	มอเตอร์ปั๊มน้ำซัพเมอส 1		2,990		1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
23	มอเตอร์ปั๊มน้ำซัพเมอส 2			2,990	1	20	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
20	มอเตอร์อัดน้ำยา 20 HP 1 ตัว	6,466			3	50	100	IEC 01, 3 x 10 mm^2 , N-4,G-4 PVC ø 25 mm
22			6,466					
24				6,466				
25	มอเตอร์พัดลม 2 HP 4 ตัว	3,141			3	20	63	IEC 01, 4 x 2.5 mm^2 , G-2.5 PVC ø 15 mm
27			3,141					
29				3,141				
26	มอเตอร์ปั๊มน้ำ 5 HP 2 ตัว	3,418			3	25	63	IEC 01, 4 x 2.5 mm^2 , G-2.5 PVC ø 15 mm
28			3,418					
30				3,418				
TOTAL		28,541	28,123	28,331	175 AT/250 AF			IEC 01, 4 x 95 mm^2
		84,995			3P IC ≥ 18 kA			G - 16 mm^2 IEC 01, IMC ø 65 mm
DEMAND FACTOR		1.0						
DEMAND LOAD		84,995						

2. ขนาดวงจรสายป้อน

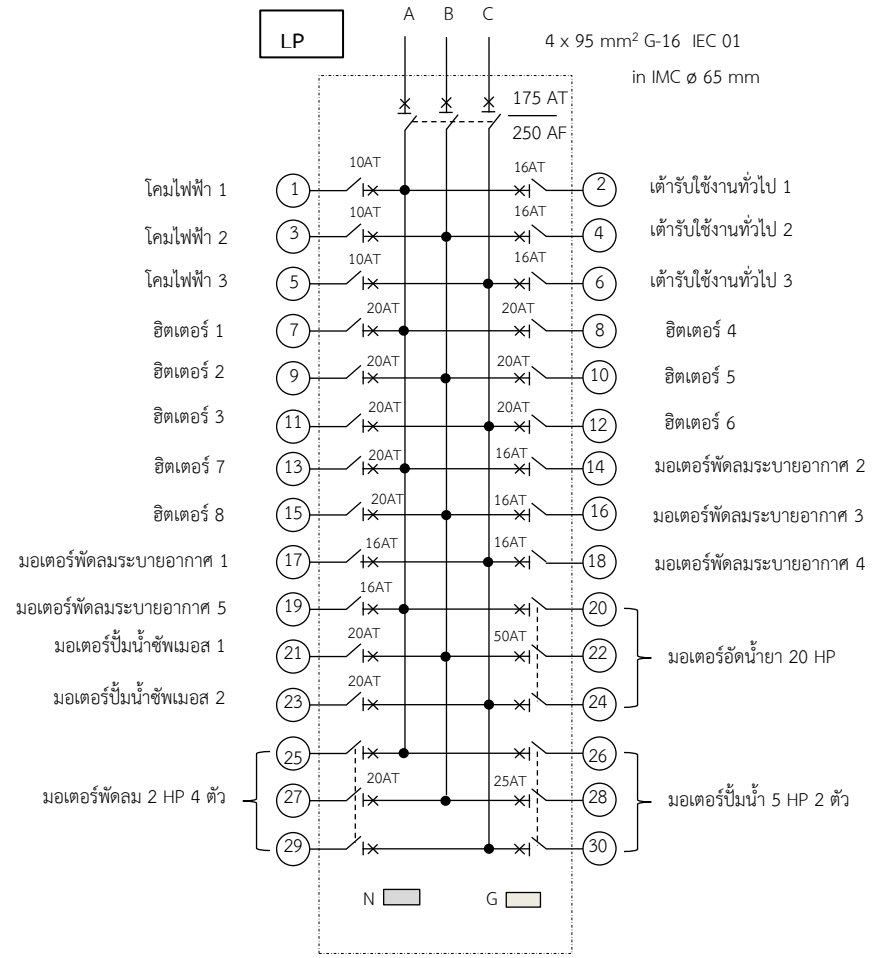
โดยพิจารณาแล้วว่ามีโอกาสใช้ไฟฟ้าพร้อมกันสูง จึงใช้ค่าดีมานแฟกเตอร์ 100 % ดังนั้นรวมโหลดสายป้อนได้โดยตรง และจากการวิเคราะห์ตารางโหลดโหลดแล้วมีความสมดุล การกำหนดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำได้ดังนี้

$$\text{ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์} = \frac{84{,}995 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 400} = 153 \text{ A}$$

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 175 AT /250 AF, 3P

สายป้อน 4 x 95 mm^2 (180 A) G-16 IEC 01, IMC ø 65 mm

และเขียนแผนภาพแยกจากตารางโหลดได้ดังนี้



แผนภาพ

2. โรงงานแห่งหนึ่งระบบ 3 เฟส 4 สาย แผงสวิตช์จ่ายไฟฟ้าให้กับแผงย่อยจำนวน 5 แผง ดังนี้

แผงย่อยที่ 1 ชุดเครื่องผลิตสินค้า 150 kVA

แผงย่อยที่ 2 ชุดสายพานลำเลียง 68 kVA

แผงย่อยที่ 3 ชุดเครื่องทำความร้อน 80 kVA

แผงย่อยที่ 4 ชุดปรับอากาศ 100 kVA

แผงย่อยที่ 5 ชุดแสงสว่าง/เต้ารับทั่วไป 40 kVA

แผงย่อยที่ 6 ชุดโหลดฟ้าสำรอง 20 kVA

2.1 จงออกแบบหาขนาดสายวงจรสายประธาน ขนาดหม้อแปลง พร้อมสร้างแผนภาพเส้นเดียว เมื่อโหลดทุกแผงย่อยคิดค่าดีมานแฟกเตอร์แล้ว

2.2 จงกำหนดหาขนาดชุดคาปาซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลังของโรงงานแห่งนี้ โดยใช้เครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ

2.3 หากต้องการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเพื่อจ่ายให้กับแผงย่อยที่ 5 แสงสว่าง/เต้ารับทั่วไป 40 kVA จงกำหนดหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง กำหนดแรงดันตกวูปไม่เกิน 30 %

<u>วิธีทำ</u>

นำโหลดของทุกแผงย่อยมาเขียนลงในตารางโหลดของแผงเมนสวิตช์ (MDB) เพื่อกำหนดวงจรสายประธาน ได้ดังนี้

FEEDER AND MAIN SCHEDULE

MDB LOCATION Room Control

busbar 2000 A 3 phaes 4 wire 8 Feeder

FEEDER	DESCRIPTION	LOAD (kVA)				CIRCUIT BREAKER			WIRE & RACEWAYS
		A	B	C	TOTAL	P	AT	AF	
แผงย่อย ที่ 1	ชุดเครื่องผลิต สินค้า	50	50	50	150	3	300	400	4 x 240 mm^2, G - 25 mm^2 IEC 01 IMC ø 90 mm
แผงย่อย ที่ 2	ชุดสายพาน ลำเลียง	22.66	22.67	22.67	68	3	150	250	4 x 95 mm^2, G - 16 mm^2 IEC 01 IMC ø 65 mm
แผงย่อย ที่ 3	ชุดเครื่องทำความ ร้อน	26.67	26.67	26.66	80	3	150	250	4 x 95 mm^2, G - 16 mm^2 IEC 01 IMC ø 65 mm
แผงย่อย ที่ 4	ชุดปรับอากาศ	33.33	33.33	33.34	100	3	200	250	4 x 120 mm^2, G - 16 mm^2 IEC 01 IMC ø 65 mm
แผงย่อย ที่ 5	ชุดแสงสว่าง/ เต้ารับทั่วไป	13.34	13.33	13.33	40	3	80	125	4 x 35 mm^2, G - 10 mm^2 IEC 01 IMC ø 40 mm
แผงย่อย ที่ 6	ชุดโหลดฟ้า สำรอง	6.66	6.68	6.66	20	3	40	125	4 x 10 mm^2, G - 4 mm^2 IEC 01 IMC ø 25 mm
TOTAL		152.66	152.68	152.66	458	900 AT/1000 AF 3P IC ≥ 50 kA			2 (4 x 240 mm^2) NYY G - 70 mm^2 CABLE LEDDER WIDYH 800 mm.
		DEMAND FACTOR			1.00				
		DEMAND LOAD			458				

1. ขนาดของสายประธานแรงต่ำ

โรงงานแห่งนี้พิจารณาแล้วว่ามีโอกาสใช้ไฟฟ้าพร้อมกันสูงมาก จึงไม่ใช้ดีมานแฟกเตอร์ลด

คำนวณหาพิกัดหม้อแปลงเท่ากับ 458 x 1.20 = 549.6 kVA

เลือกขนาดพิกัดหม้อแปลงที่มีจำหน่าย 630 kVA 22 kV/230-400 V 3 ø 4 W

$$\text{เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำปรับตั้งสูงสุด 100 \%} = \frac{630 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 909 \text{ A}$$

เลือกปรับตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ 900 AT/1250 AF IC ≥ 50 kA (ชนิดปรับตั้งได้)

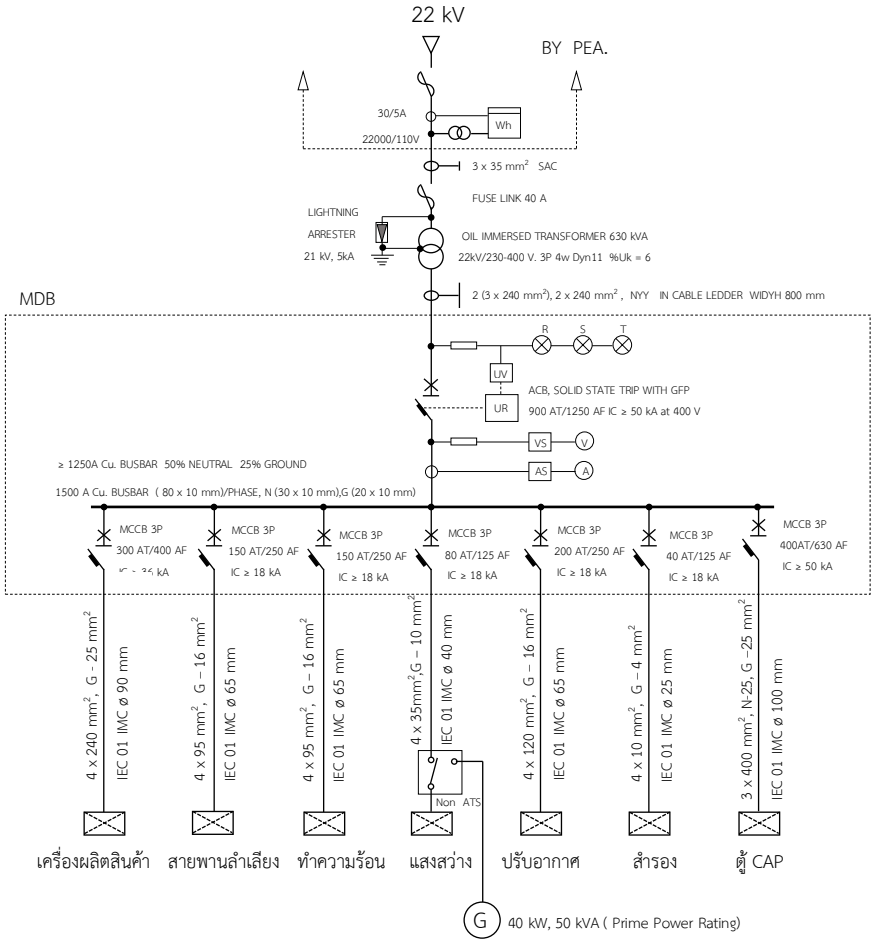
เลือกขนาดสายประธาน 2 (4 x 240 mm^2) (535 A), NYY แกนเดียว วางห่างบนรางเคเบิลแบบบันได (สายนิวทรัลเท่ากับสายเส้นเฟส พิจารณาจากโหลดคาดว่าเป็นโหลดชนิด 1 เฟส) ขนาดสายดินของระบบไฟฟ้า 70 mm^2

2. ขนาดของสายประธานแรงสูง

$$\text{ฟิวส์ลิงก์สูงสุดไม่เกิน 300 \%} = \frac{630 \times 1{,}000 \times 3}{\sqrt{3} \times 22{,}000} = 49.60 \text{ A}$$

เลือกขนาดฟิวส์ลิงก์ 40 A สาย SAC ขนาด 3 x 35 mm^2

มิเตอร์ประกอบ CT, VT แรงสูง ขนาด 20/5 A และ 22,000/110 V ตามลำดับ เขียนแผนภาพเส้นเดียวได้ดังนี้



แผนภาพเส้นเดียวแผงเมนสวิตช์ (MDB & CAP)

3. หาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

สำหรับในทางปฏิบัติเมื่อทราบขนาดพิกัดหม้อแปลงแล้วขนาดของคาปาซิเตอร์ประมาณ 30 % ของพิกัดหม้อแปลง

$$kvar_{CAP} = 0.3 \times 630 = 189 \text{ kvar}$$

ขนาดคาปาซิเตอร์ขั้นโตสุดที่ยอมรับได้ที่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันขณะปลดและสับชุดคาปาซิเตอร์ คือไม่เกินร้อยละ 0.3 ของแรงดันไฟฟ้าในระบบ ดังนี้

$$\Delta\text{kvar} = \frac{0.003 \times \text{kVA}}{\%\ Zk}$$

$$\Delta\text{kvar} = \frac{0.003 \times 630}{0.06} = 31.5 \text{ kvar}$$

ดังนั้นขนาดคาปาซิเตอร์ขั้นโตสุดไม่ควรเกิน 31.5 kvar

เลือกชั้นละ 30 kvar จำนวน 6 ชั้น

ขนาดค่าปรับตั้ง C/K จากการวิเคราะห์โหลดมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า จึงกำหนดให้เปอร์เซ็นต์กระแสของคาปาซิเตอร์ในแต่ละขั้นเท่ากับ 0.75 และเลือกต่อผ่านหม้อแปลงกระแสซึ่งมีอัตราส่วนเท่ากับ 1000/5 A หา C/K ได้ดังนี้

$$\text{C/K} = \frac{m \times Q \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times K}$$

$$= \frac{0.75 \times 30 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400 \times (1000/5)}$$

$$= 0.16$$

ขนาด HRC ฟิวส์ คอนแทกเตอร์และขนาดสายไฟฟ้า

<u>วงจรย่อย</u>

กระแสของวงจรคาปาซิเตอร์แต่ละชุด

$$I_{C\ (3\ \text{เฟส})} = \frac{30 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 43.3 \text{ A}$$

ขนาด HRC ฟิวส์แต่ละชุด

$$I_{FUSE} = 1.65 \times I_C$$

$$= 1.65 \times 43.3 = 71.45 \text{ A} \quad ; \text{เลือก } 80 \text{ A}$$

ขนาดคอนแทกเตอร์แต่ละชุด

$$I_{DISC} \geq 1.35 \times I_C$$

$$\geq 1.35 \times 43.3 = 58.45 \text{ A} \quad ; \text{เลือก } 45 \text{ kvar , AC-6b}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละชุด

$$I_{COND} \geq 1.35 \times I_C$$

$$\geq 1.35 \times 43.3 = 58.45 \text{ A} \quad ; \text{เลือก } 3 \times 16 \text{ mm}^2, \text{ G -10 IEC 01}$$

<u>วงจรสายป้อน</u>

กระแสของวงจรคาปาซิเตอร์สายป้อน

$$I_{C\ (3\ เฟส)} = \frac{30 \times 6 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 260\ A$$

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์สายป้อน

$I_{CB} = 1.50 \times 260$

$= 1.50 \times 260 = 390\ A$; เลือก 400 AT , Ic ≥ 50 kA

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าสายป้อน

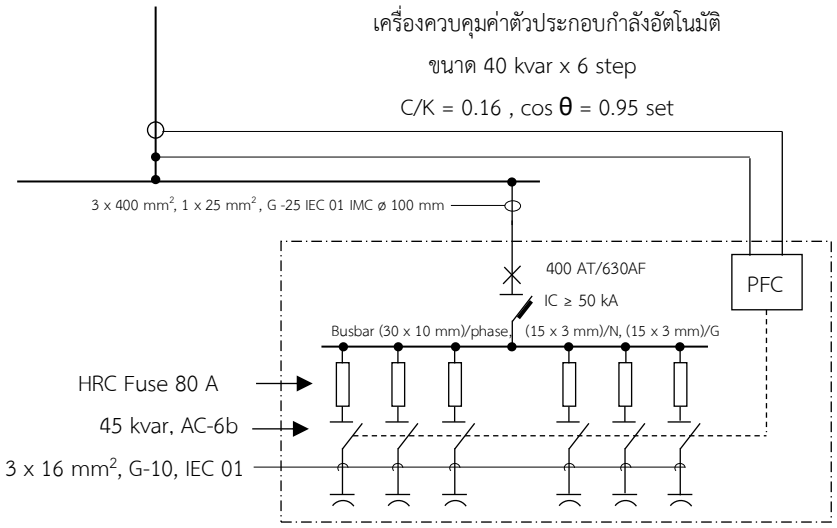
$I_{COND} \geq 1.35 \times I_C$

$\geq 1.35 \times 260 = 351\ A$

เลือกขนาดสาย 3 x 400 mm^2, 1 x 25 mm^2 , G -25 IEC 01

และต่อบัสบาร์ (30 x 10 mm), (15 x 3 mm), (15 x 3 mm) ตามลำดับ

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปด้านล่าง



ขนาดพิกัดเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ (PFC)

3. หาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

แผงย่อยที่ 5 ชุดแสงสว่าง/เต้ารับทั่วไป 40 kVA สมมุติให้โหลดสมดูล และมี PF = 0.95 %

แสงสว่างมีกำลังไฟฟ้า kW = 40 x 0.95 = 38 kW

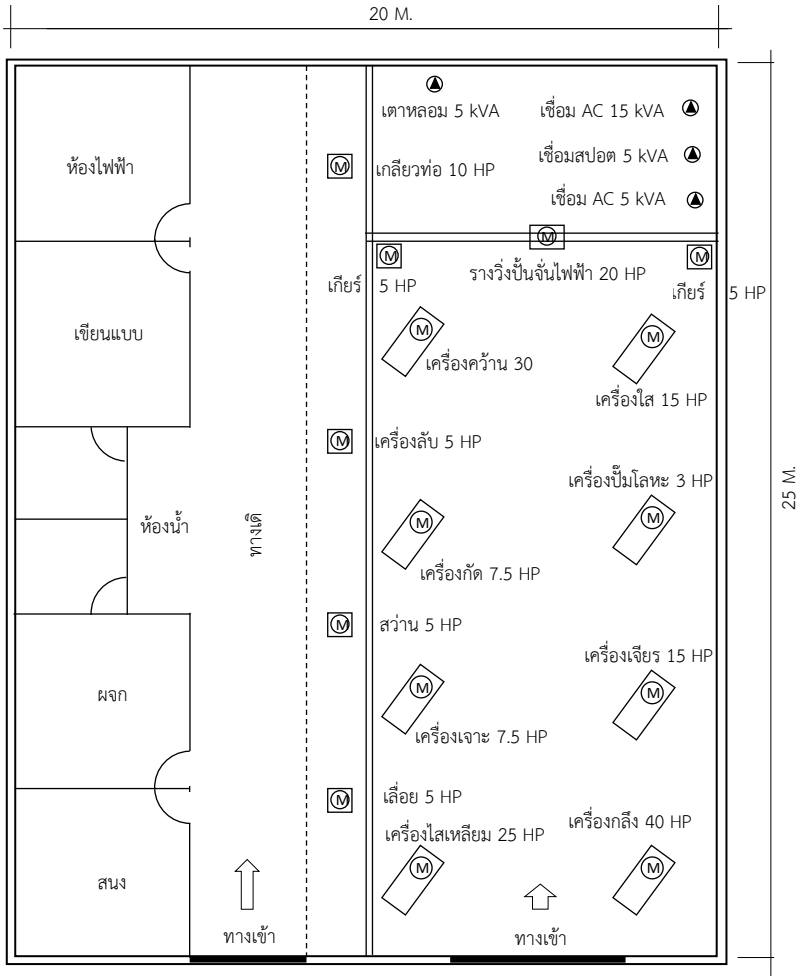
มี Starting kVA = kVA = 40 SkVA

ที่แรงดันตกวูบไม่เกิน 30 %

$$kVA_{(G)} = \frac{SkVA}{2.1} = \frac{40}{2.1} = 19\ kVA_{(G)}$$

เนื่องจาก $kVA_{(G)}$ น้อยกว่าพิกัด kVA จึงเลือก kW ของโหลดเป็นตัวกำหนด ขนาดเครื่องกำเนิด เลือก 50 kVA, 40 kW ซึ่งแรงดันตกวูบจะประมาณ 16 %

3. โรงงานผลิตชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องยนต์แห่งหนึ่ง ในเขตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีแผนผังเครื่องจักรดังรูปด้านล่าง กำหนดสายประธานเดินฉนวนลูกถ้วยอากาศ สายป้อนและสายวงจรย่อยเดินร้อยท่อเกาะผนัง มอเตอร์เครื่องจักรเป็นระบบ 3 เฟส 400 V ทั้งหมด ส่วนเครื่องเชื่อมเป็นระบบ 1 เฟส



ผังเครื่องจักรโรงงานผลิตชิ้นส่วนอะไหล่

3.1 จงออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักร ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและเต้ารับทั่วไป พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า ระบบประธานแรงต่ำและแรงสูง

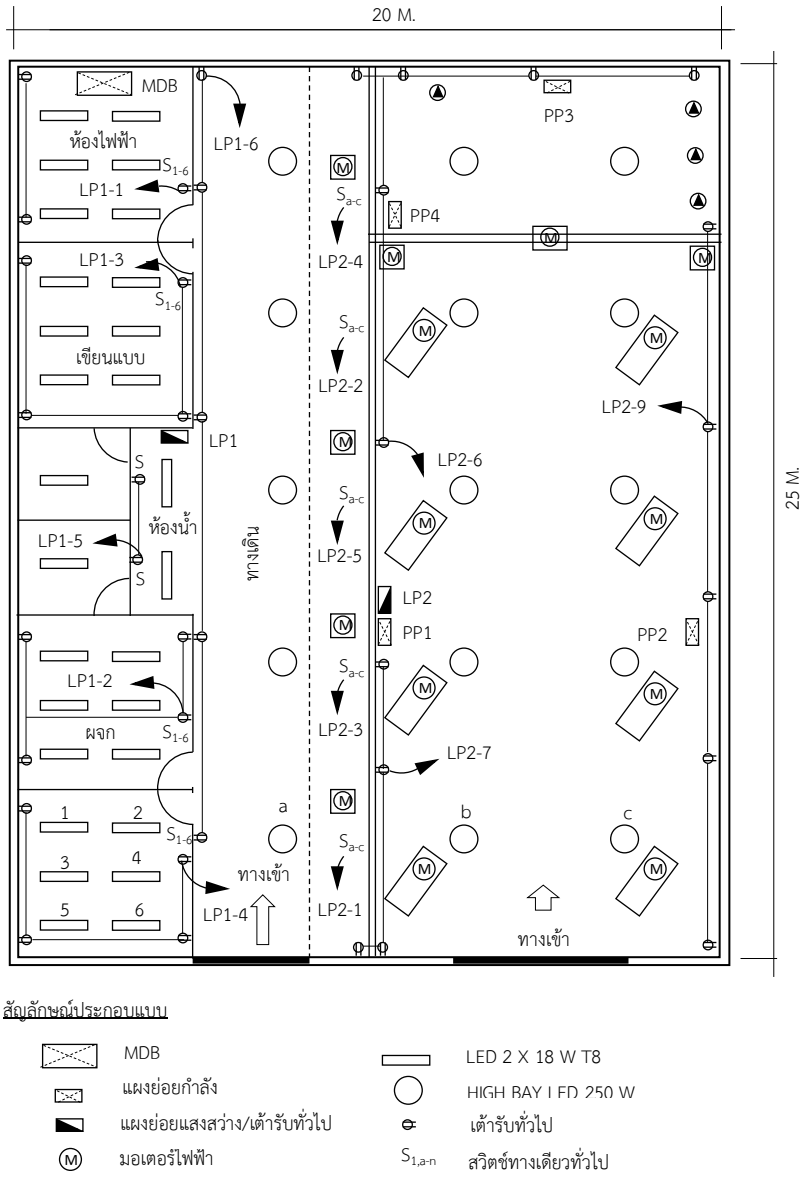
3.2 หากต้องปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ให้ได้ 0.95 โดยต่อผ่านเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ (PFC) การจงหาขนาดชุดคาปาซิเตอร์ และค่าปรับตั้ง C/K กำหนดกำหนดให้เปอร์เซ็นต์กระแสของคาปาซิเตอร์ในแต่ละขั้นเท่ากับ 65 %

3.3 หากเจ้าของโรงงานต้องการจัดซื้อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อใช้ในส่วนของปั้นจั่นลำเลียงสินค้าจงกำหนดขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง กำหนดแรงดันตกวูปไม่เกิน 20 %

<u>วิธีทำ</u>

3.1 ออกแบบระบบไฟฟ้าโรงงาน

กำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ไฟฟ้าและแผงวงจรย่อยได้ดังนี้



รูปตำแหน่งอุปกรณ์ไฟฟ้าและแผงไฟฟ้า

โรงงานนี้กำหนดแบ่งการคำนวณโหลดออกเป็น 6 ส่วน คือ

1. แสงสว่าง/เต้ารับโรงงาน 1
2. แสงสว่าง/เต้ารับโรงงาน 2
3. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า/เตาหลอม
4. เครื่องจักรโซน 1
5. เครื่องจักรโซน 2
6. รางวิ่งปั้นจั่น

1. <u>แสงสว่าง/เต้ารับโรงงาน 1</u> กำหนดเป็นแผงย่อย LP1 จัดทำตารางโหลดได้ดังนี้

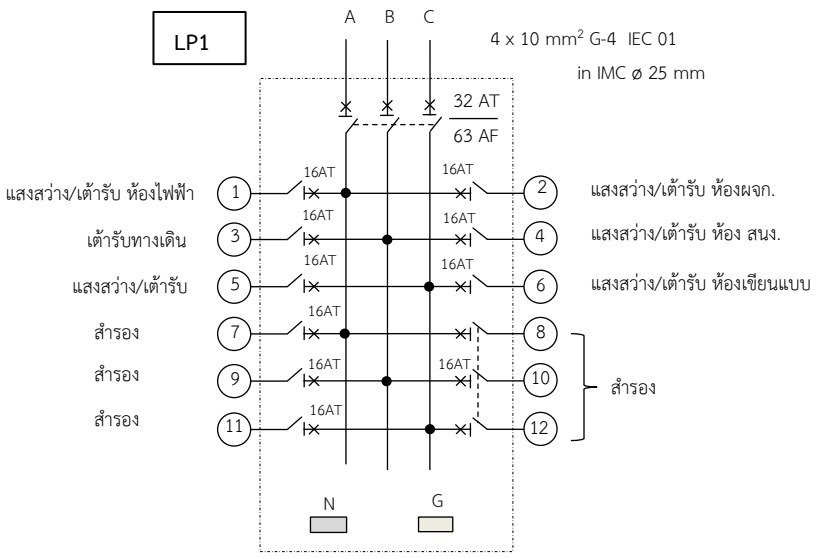
ตารางโหลด

สถานที่ ทางเดิน แผงย่อย LP1

พิกัดบัสบาร์ 100 A 3 เฟส 4 สาย 12 วงจร

วงจร	รายการโหลด	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย
		A	B	C	ขั้ว	AT	AF	
1	แสงสว่าง/เต้ารับ ห้องไฟฟ้า	1,140			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
3	เต้ารับทางเดิน		900		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
5	แสงสว่าง/เต้ารับ ห้องน้ำ			760	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
2	แสงสว่าง/เต้ารับ ห้องผจก.	1,320			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
4	แสงสว่าง/เต้ารับ ห้อง สนง.		1,320		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
6	แสงสว่าง/เต้ารับ ห้องเขียนแบบ			1,320	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
7	สำรอง	1,000			1	16	63	-
9	สำรอง		1,000		1	16	63	-
11	สำรอง			1,000	1	16	63	-
8	สำรอง	1,000			3	16	63	-
10			1,000					-
12				1,000				-
TOTAL		4,460	4,220	4,080	32 AT/ 63AF			IEC 01, 4 x 10 mm^2
		12,760			3P IC ≥ 10 kA			G - 4 mm^2 IEC 01, IMC ø 25 mm
DEMAND FACTOR		1.0						
DEMAND LOAD		12,760						

เขียนแผนภาพแยกจากตารางโหลดได้ดังนี้



แผนภาพ

2. <u>แสงสว่าง/เต้ารับโรงงาน 2</u> กำหนดเป็นแผงย่อย LP2 จัดทำตารางโหลดได้ดังนี้

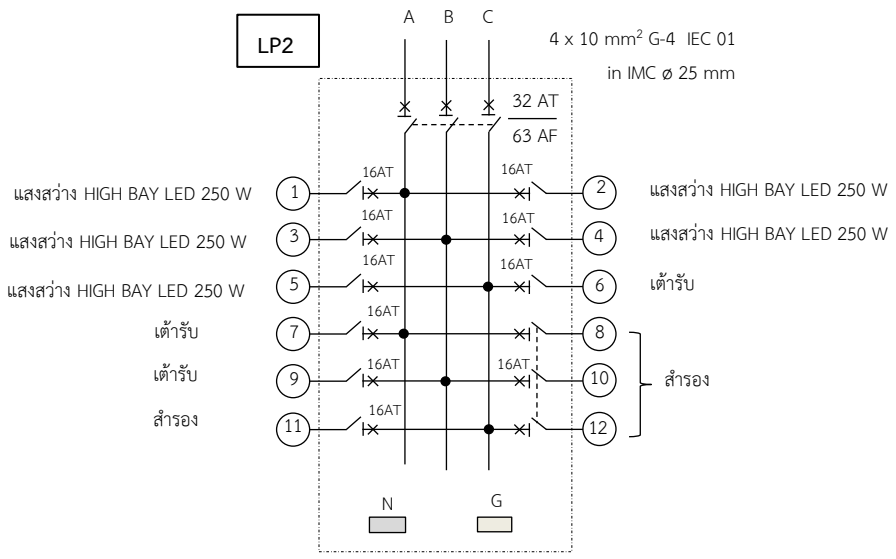
ตารางโหลด

สถานที่ โถง แผงย่อย LP2

พิกัดบัสบาร์ 100 A 3 เฟส 4 สาย 12 วงจร

วงจร	รายการโหลด	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์			สายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย
		A	B	C	ขั้ว	AT	AF	
1	แสงสว่าง HIGH BAY LED 250 W	938			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
3	แสงสว่าง HIGH BAY LED 250 W		938		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
5	แสงสว่าง HIGH BAY LED 250 W			938	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
2	แสงสว่าง HIGH BAY LED 250 W	938			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
4	แสงสว่าง HIGH BAY LED 250 W		938		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
6	เต้ารับ 1			1,080	1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
7	เต้ารับ 2	720			1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
9	เต้ารับ 1		900		1	16	63	IEC 01, 2 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 PVC ø 15 mm
11	สำรอง			500	1	16	63	-
8	สำรอง	500			3	16	63	-
10			500					-
12				500				-
TOTAL		2,596	3,276	3,018	32 AT/ 63AF			IEC 01, 4 x 10 mm^2
		8,890			3P IC ≥ 10 kA			G - 4 mm^2 IEC 01, IMC ø 25 mm
DEMAND FACTOR		1.0						
DEMAND LOAD		8,890						

เขียนแผนภาพแยกจากตารางโหลดได้ดังนี้



แผนภาพ

3. <u>เครื่องเชื่อมไฟฟ้า</u>/เตาหลอม กำหนดเป็นแผงย่อย PP1 หาขนาดวงจรย่อยและสายป้อนได้ดังนี้

<u>วงจรย่อย</u>

เครื่องเชื่อมอาร์กไฟฟ้ากระแสสลับ 230 V 15 kVA กำหนดรอบทำงาน 60%

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

$$I_{FL} = \frac{15 \times 1{,}000}{230} = 65.28 \text{ A}$$

รอบทำงาน 60 % ได้ $K_3 = 0.55$

$$I_C \geq 65.28 \times 0.78 \geq 50.92 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 2 x 16 mm^2 (66 A)

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 50.92 \leq 102 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 80 AT และขนาดสายดิน 10 mm^2

เครื่องเชื่อมอาร์กไฟฟ้ากระแสสลับ/เชื่อมสปอต 230 V 5 kVA กำหนดรอบทำงาน 50%

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

$$I_{FL} = \frac{5 \times 1{,}000}{230} = 21.74 \text{ A}$$

รอบทำงาน 50 % ได้ $K_3 = 0.71$

$$I_C \geq 21.74 \times 0.71 \geq 15.44 \text{ A}$$

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 2 x 2.5 mm^2 (21 A)

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 15.44 \leq 30.88 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 25 AT และขนาดสายดิน 4 mm^2

เตาหลอม กำหนด 400 V 5 kVA กำหนดรอบทำงาน 50%

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

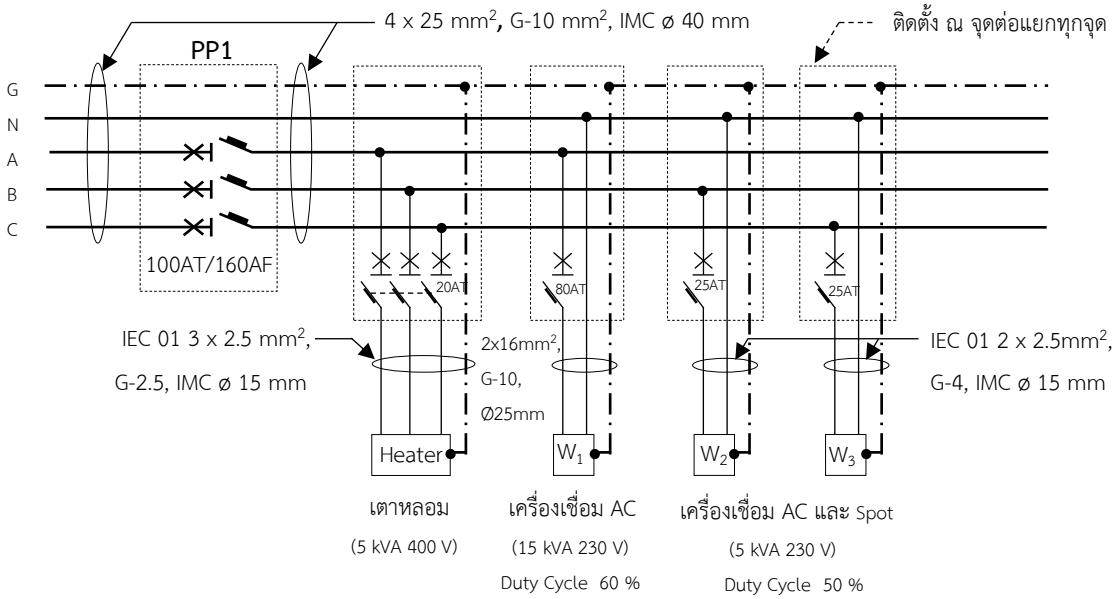
$$In \geq \frac{5 \times 1{,}000 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 400} \geq 9.02 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 20 AT และขนาดสายดิน 2.5 mm^2

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 2 x 2.5 mm^2 (21 A)

<u>วงจรสายป้อน</u>

เนื่องจากสายป้อนเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย จ่ายไฟให้กับเตาหลอม 3 เฟส และเครื่องเชื่อมชนิด 1 เฟส เลือกเฟสที่มีกระแสมากที่สุด คือ เฟส A ดังรูปวงจรด้านล่าง ดังนี้



ขนาดกระแสของสายป้อน ≥ 20 + 50.92 = 70.92 A (ส่วนของเตาหลอดเลือกจาก CB = 20 AT)

เลือกขนาดสายไฟฟ้า 4 x 25 mm^2 (77 A)

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายไฟฟ้า

$$I_{CB} \leq 2 \times I_C$$

$$I_{CB} \leq 2 \times 70.92 \leq 142 \text{ A}$$

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100 AT และขนาดสายดิน 10 mm^2

เขียนเป็นตารางโหลดได้ดังนี้

ตารางโหลด

สถานที่ เตาหลอมและเครื่องเชื่อม แผงย่อย PP1

พิกัดบัสบาร์ 160 A 3 เฟส 4 สาย 4 วงจร

Cir.	DESCRIPTION	LOAD (kVA)				CIRCUIT BREAKER			WIRE & RACEWAYS
		A	B	C	TOTAL	ขั้ว	AT	AF	
1	เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ 1	15	-	-	15	1	80	100	2 x 16 mm^2 ,G-10 IEC 01IMC ø 25mm
2	เครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ 2	-	5	-	5	1	25	63	2 x 2.5 mm^2 ,G-4 IEC 01 IMC ø 15mm
3	เครื่องเชื่อมสปอต	-	-	5	5	1	25	63	2 x 2.5 mm^2 ,G-4 IEC 01 IMC ø 15mm
4	เตาหลอม	1.66	1.66	1.68	5	3	20	63	3 x 2.5 mm^2,G-2.5 IEC 01 IMC ø15mm
TOTAL		16.66	6.66	6.68	30	100 AT/160 AF			4 x 25 mm^2 ,IEC 01, G - 10 mm^2
		DEMAND FACTOR			1.00	3P Ic ≥ 18 kA			IMC ø 40 mm
		DEMAND LOAD			30				

4. <u>เครื่องจักรโซน 1</u> กำหนดเป็นแผงย่อย PP2 หาขนาดวงจรย่อยและสายป้อนได้ดังนี้

<u>วงจรย่อย</u>

มอเตอร์เครื่องรับ/สว่านและเลื่อย ขนาด 5 HP 3 เฟส 400 V 7.5 A (Direct on line Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 7.5}{1,000} = 5.19 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุมและมอเตอร์ ≥ 1.25 x 7.5 ≥ 9.38 A

เลือกสายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 7.5 ≤ 18.75 A

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 16 AT

ขนาดเครื่องควบคุม ≥ 3.7 kW

เลือกคอนแทกเตอร์ชนิด AC–3 ขนาด 4 kW

ขนาดสายดินเลือกตามพิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 7.5 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 2.5 mm^2

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 7.5 – 11 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 15 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 15 mm

มอเตอร์เครื่องกัดและเจาะขนาด 7.5 HP 3 เฟส 400 V 11 A (Direct on line Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 11}{1,000} = 7.62 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 x 11 ≥ 13.75 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 11 ≤ 27.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 25 AT

พิกัดเครื่องควบคุม ≥ 5.5 kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 5.5 kW

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน = 11 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 2.5 mm^2

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 10 – 14 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 15 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 15 mm

มอเตอร์เครื่องทำเกลี่ยวท่อขนาด 10 HP 3 เฟส 400 V 15 A (Direct on line Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 15}{1,000} = 10.40 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 x 15 ≥ 18.75 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 4 mm^2 (24 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 15 ≤ 37.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 32 AT

พิกัดเครื่องควบคุม ≥ 7.5 kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 7.5 kW

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน = 15 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 2.5 mm^2

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 13 – 19 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 15 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 15 mm

มอเตอร์เครื่องใสเหลี่ยม ขนาด 25 HP 3 เฟส 400 V 35 A (Star–delta Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 35}{1{,}000} = 24.25 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 35 ≥ 43.75 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 16 mm^2 (59 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (35/√3) ≥ 25.26 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 6 x 10 mm^2) (44 A) *ร้อยท่อเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 35 ≤ 87.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 63 AT

พิกัดเครื่องควบคุม ≥ 18.5/√3 ≥ 11 kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 11 kW

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 35/√3 = 20.21 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 4 mm^2 (เลือกจากพิกัดปรับตั้ง 100 % ของกระแสมอเตอร์)

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 18 – 25 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 25 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 32 mm

มอเตอร์เครื่องคว้าน ขนาด 30 HP 3 เฟส 400 V 42 A (Star–delta Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 42}{1{,}000} = 29.10 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 42 ≥ 52.5 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 16 mm^2 (59 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (42/√3) ≥ 30.31 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 6 x 10 mm^2) (44 A) *ร้อยท่อเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 42 ≤ 105 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 80 AT

พิกัดเครื่องควบคุม ≥ 22/√3 ≥ 12.7 kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 18.5 kW

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 42/√3 = 24.25 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 6 mm^2 (เลือกจากพิกัดปรับตั้ง 100 % ของกระแสมอเตอร์)

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 22 – 32 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 25 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 32 mm

เขียนเป็นตารางโหลดได้ดังนี้

ตารางโหลด

สถานที่ เครื่องจักรโซน 1 แผงย่อย PP2

พิกัดบัสบาร์ 250 A 3 เฟส 4 สาย 8 วงจร

Cir.	DESCRIPTION	LOAD (kVA)				CIRCUIT BREAKER			WIRE & RACEWAYS
		A	B	C	TOTAL	ขั้ว	AT	AF	
1	เครื่องเลื่อย	1.73	1.73	1.73	5.19	3	16	63	3 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 IEC 01IMC ø 15mm
2	เครื่องสว่าน	1.73	1.73	1.73	5.19	3	16	63	3 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 IEC 01IMC ø 15mm
3	เครื่องลับ	1.73	1.73	1.73	5.19	3	16	63	3 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 IEC 01IMC ø 15mm
4	เครื่องกัด	2.54	2.54	2.54	7.62	3	25	63	3 x 2.5 mm^2,G-2.5 IEC 01 IMC ø15mm
5	เครื่องเจาะ	2.54	2.54	2.54	7.62	3	25	63	3 x 2.5 mm^2,G-2.5 IEC 01 IMC ø15mm
6	เครื่องทำเกลี่ยว	3.46	3.46	3.48	10.40	3	32	63	3 x 4 mm^2,G-2.5 IEC 01 IMC ø15mm
7	เครื่องไสเหลี่ยม	8.08	8.08	8.09	24.25	3	63	100	6 x 10 mm^2,G-4 IEC 01 IMC ø32mm
8	เครื่องคว้าน	9.7	9.7	9.7	29.10	3	80	100	6 x 10 mm^2,G-6 IEC 01 IMC ø32mm
TOTAL		31.51	31.51	31.54	94.56	160 AT/250 AF			3 x 70 mm^2 ,1 x 35 mm^2 , IEC 01,
		DEMAND FACTOR			1.00	3P Ic ≥ 18 kA			G - 16 mm^2 , IMC ø 50 mm
		DEMAND LOAD			94.56				

<u>วงจรสายป้อน</u>

ขนาดกระแสของสายป้อนมอเตอร์ $I_F \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum I_M$

$I_F \geq 1.25 \times 42 + 35 + 15 + (11x2) + (7.5x2) \geq 140$ A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 70 mm^2 (149 A) สายนิวทรัลขนาด 35 mm^2 (50 %)

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อน

$$I_{CB,F} = I_{CB,MAX} + \sum I_M$$

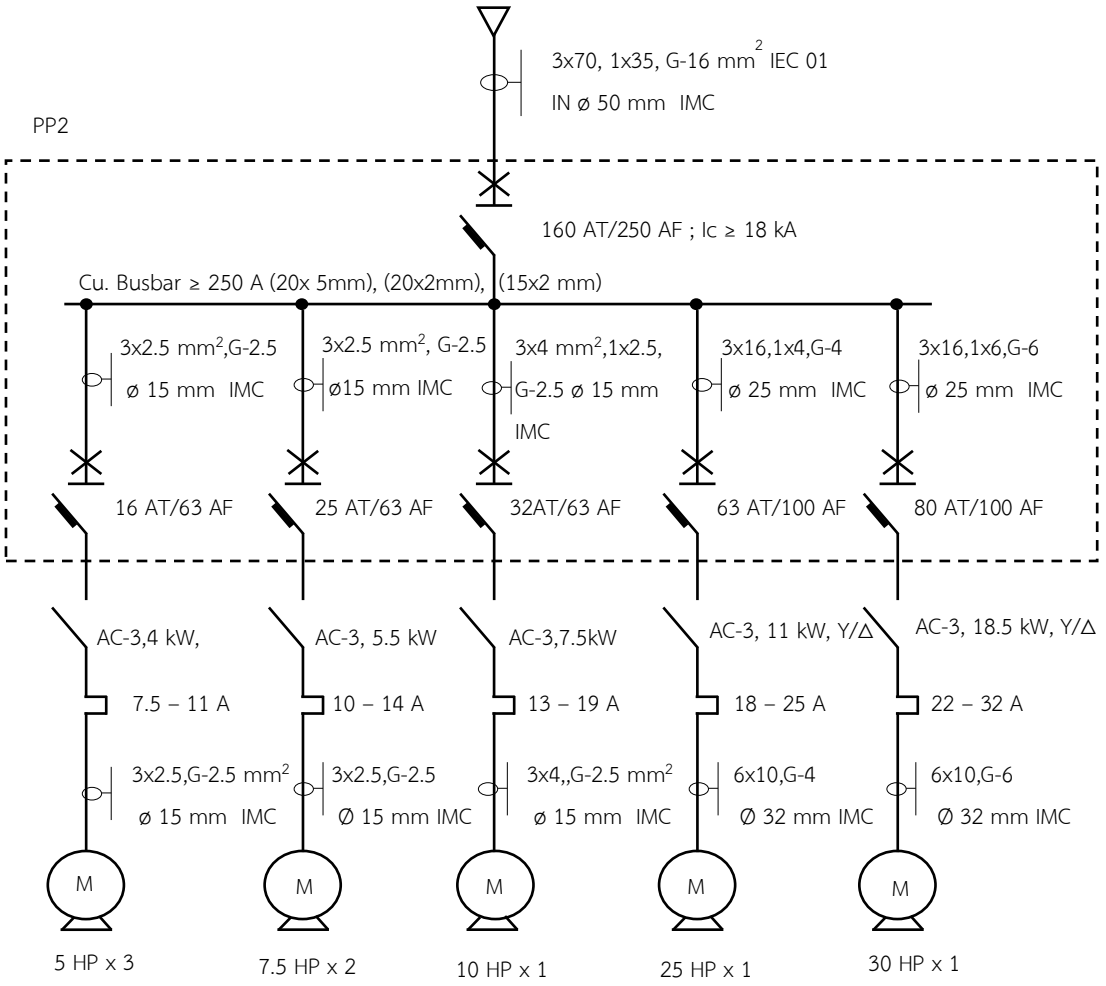
$$I_{CB,F} = 80 + 35 + 15 + (11x2) + (7.5x2) = 167 \text{ A}$$

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 160 AT

ใช้สายดินขนาด 16 mm^2

ขนาดท่อโลหะ 50 mm

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



5. <u>เครื่องจักรโซน 2</u> กำหนดเป็นแผงย่อย PP3 หาขนาดวงจรย่อยและสายป้อนได้ดังนี้

<u>วงจรย่อย</u>

มอเตอร์เครื่องปั๊มโลหะ ขนาด 5 HP 3 เฟส 400 V 4.8 A (Direct on line Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 4.8}{1{,}000} = 3.12 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุมและมอเตอร์ ≥ 1.25 x 4.8 ≥ 6 A

เลือกสายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 4.8 ≤ 12 A

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 10 AT

ขนาดเครื่องควบคุม ≥ 2.2 kW

เลือกคอนแทกเตอร์ชนิด AC–3 ขนาด 4 kW

ขนาดสายดินเลือกตามพิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 4.8 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 2.5 mm^2

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 4.5 –6.5 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 15 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 15 mm

มอเตอร์เครื่องไสและเครื่องเจียร ขนาด 15 HP 3 เฟส 400 V 21 A (Star–delta Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 21}{1{,}000} = 14.55 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 21 ≥ 26.25 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 6 mm^2 (31 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (21/√3) ≥ 15.16 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 6 x 4 mm^2) (24 A) *ร้อยท่อเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 21 ≤ 52.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 40 AT

พิกัดเครื่องควบคุม ≥ 11/√3 ≥ 6.35 kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 7.5 kW

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 21/√3 = 12.12 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 4 mm^2 (เลือกจากพิกัดปรับตั้ง 100 % ของกระแสมอเตอร์)

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 12 – 16 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 20 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 20 mm

มอเตอร์เครื่องกลึง ขนาด 40 HP 3 เฟส 400 V 57 A (Star–delta Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 57}{1{,}000} = 39.50 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 57 ≥ 71.25 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 25 mm^2 (77 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (57/√3) ≥ 41.14 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 6 x 16 mm^2) (59 A) *ร้อยท่อเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 57 ≤ 142.5 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 125 AT

พิกัดเครื่องควบคุม ≥ 30/√3 ≥ 17.32 kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 18.5 kW

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 57/√3 = 32.91 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 6 mm^2 (เลือกจากพิกัดปรับตั้ง 100 % ของกระแสมอเตอร์)

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 29 – 42 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 32 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 32 mm

เขียนเป็นตารางโหลดได้ดังนี้

ตารางโหลด

สถานที่ เครื่องจักรโซน 2 แผงย่อย PP3

พิกัดบัสบาร์ 250 A 3 เฟส 4 สาย 4 วงจร

Cir.	DESCRIPTION	LOAD (kVA)				CIRCUIT BREAKER			WIRE & RACEWAYS
		A	B	C	TOTAL	ขั้ว	AT	AF	
1	เครื่องปั๊มโลหะ	1.04	1.04	1.04	3.12	3	10	63	3 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 IEC 01IMC ø 15mm
2	เครื่องไส	4.85	4.85	4.85	14.55	3	40	63	6 x 4 mm^2 ,G-4 IEC 01 IMC ø 20 mm
3	เครื่องเจียร	4.85	4.85	4.85	14.55	3	40	63	6 x 4 mm^2 ,G-4 IEC 01 IMC ø 20 mm
4	เครื่องกลึง	13.16	13.16	13.18	39.50	3	125	125	6 x 16 mm^2,G-6 IEC 01 IMC ø32mm
TOTAL		23.90	23.90	23.92	71.72	160 AT/250 AF			3 x 70 mm^2 ,1 x 35 mm^2 , IEC 01,
		DEMAND FACTOR			1.00	3P Ic ≥ 18 kA			G - 16 mm^2 , IMC ø 50 mm
		DEMAND LOAD			71.72				

<u>วงจรสายป้อน</u>

ขนาดกระแสของสายป้อนมอเตอร์ $I_F \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum I_M$

$I_F \geq 1.25 \times 57 + 21 + 21 + 4.8 \geq 118$ A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 70 mm^2 (149 A) สายนิวทรัลขนาด 35 mm^2 (50 %)

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อน

$$I_{CB,F} = I_{CB,MAX} + \sum I_M$$

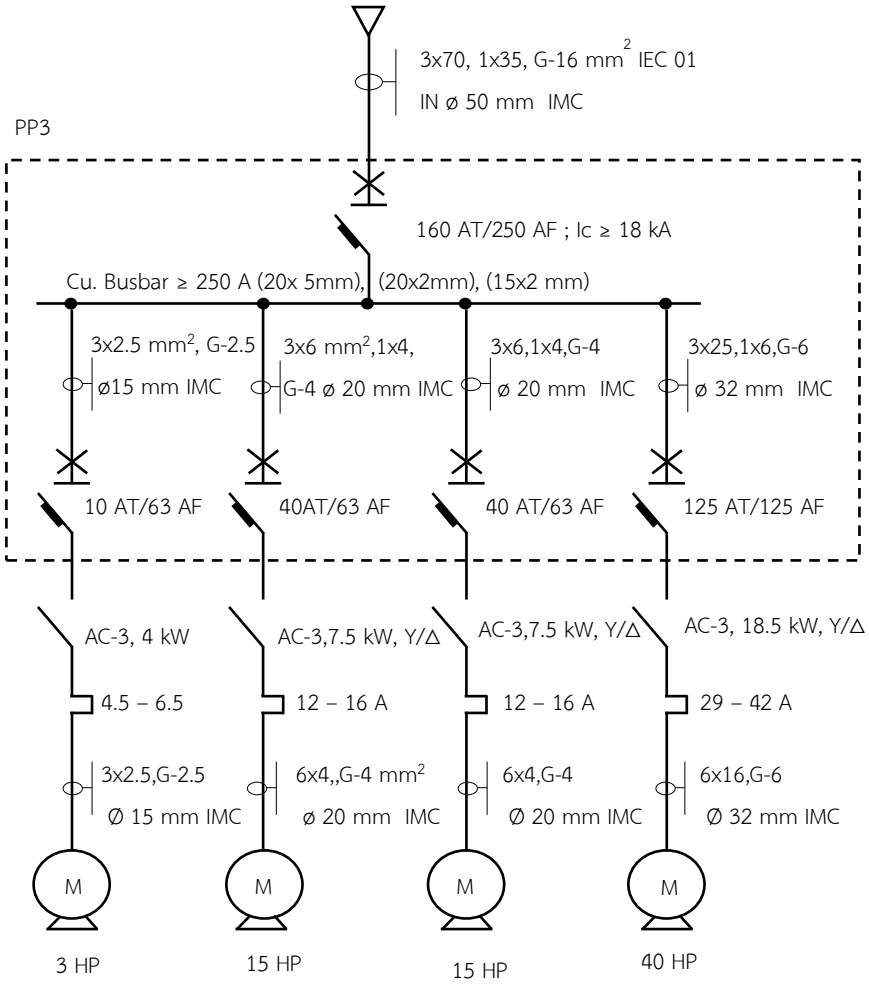
$$I_{CB,F} = 125 + 21 + 21 + 4.8 = 172 \text{ A}$$

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 160 AT

ใช้สายดินขนาด 16 mm^2

ขนาดท่อโลหะ 50 mm

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



6. <u>รางวิ่งปั้นจั่นไฟฟ้า</u> กำหนดเป็นแผงย่อย PP4 หาขนาดวงจรย่อยและสายป้อนได้ดังนี้

<u>วงจรย่อย</u>

มอเตอร์เครื่องเกียร์ ขนาด 5 HP 3 เฟส 400 V 7.4 A (Direct on line Starting) 2 ตัว

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 7.4}{1{,}000} = 5.13 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุมและมอเตอร์ ≥ 1.25 x 7.4 ≥ 9.25 A

เลือกสายเส้นไฟขนาด 3 x 2.5 mm^2 (18 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 7.4 ≤ 18.5 A

เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 16 AT

ขนาดเครื่องควบคุม ≥ 3.7 kW

เลือกคอนแทกเตอร์ชนิด AC–3 ขนาด 4 kW

ขนาดสายดินเลือกตามพิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 7.4 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 2.5 mm^2

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 7.5 – 11 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 15 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 15 mm

มอเตอร์ปั้นจั่น ขนาด 20 HP 3 เฟส 400 V 28 A (Star–delta Starting)

$$\text{โหลด kVA} = \frac{\sqrt{3} \times 400 \times 28}{1{,}000} = 19.40 \text{ kVA}$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม ≥ 1.25 x 28 ≥ 35 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 10 mm^2 (44 A) สายนิวทรัลเท่ากับสายดิน

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ ≥ 1.25 x (28/√3) ≥ 20.21 A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 6 x 6 mm^2) (31 A) *ร้อยท่อเดียวกัน*

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ ≤ 2.5 x 28 ≤ 70 A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 50 AT

พิกัดเครื่องควบคุม ≥ 15/√3 ≥ 8.66 kW (Motor)

ใช้เครื่องควบคุมชนิด AC–3 ขนาดพิกัด 11 kW

ขนาดกระแสปรับตั้งของเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 28/√3 = 16.17 A

เลือกสายดินมอเตอร์ขนาด 4 mm^2 (เลือกจากพิกัดปรับตั้ง 100 % ของกระแสมอเตอร์)

ใช้ปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 15 – 21 A

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องป้องกันถึงเครื่องควบคุม 25 mm

ขนาดท่อโลหะจากเครื่องควบคุมถึงตัวมอเตอร์ 25 mm

เขียนเป็นตารางโหลดได้ดังนี้

ตารางโหลด

สถานที่ ระบบรางปั้นจั่น แผงย่อย PP4

พิกัดบัสบาร์ 100 A 3 เฟส 4 สาย 3 วงจร

Cir.	DESCRIPTION	LOAD (kVA)				CIRCUIT BREAKER			WIRE & RACEWAYS
		A	B	C	TOTAL	ขั้ว	AT	AF	
1	เครื่องมอเตอร์ปั้นจั่น	6.46	6.46	6.48	19.40	3	50	63	6 x 6 mm^2 ,G-4 IEC 01 IMC ø 25mm
2	เครื่องมอเตอร์เกียร์	1.71	1.71	1.71	5.13	3	16	63	3 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 IEC 01IMC ø 15mm
3	เครื่องมอเตอร์เกียร์	1.71	1.71	1.71	5.13	3	16	63	3 x 2.5 mm^2 ,G-2.5 IEC 01IMC ø 15mm
TOTAL		9.88	9.88	9.90	29.66	63 AT/100 AF			3 x 16 mm^2 ,1 x 10 mm^2 , IEC 01,
		DEMAND FACTOR			1.00	3P Ic ≥ 15 kA			G - 6 mm^2 , IMC ø 25 mm
		DEMAND LOAD			29.66				

<u>วงจรสายป้อน</u>

ขนาดกระแสของสายป้อนมอเตอร์ $I_F \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum I_M$

$I_F \geq 1.25 \times 28 + 7.4 + 7.4 \geq 49.8$ A

ใช้สายเส้นไฟขนาด 3 x 16 mm^2 (59 A) สายนิวทรัลขนาด 10 mm^2 (50 %)

ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรสายป้อน

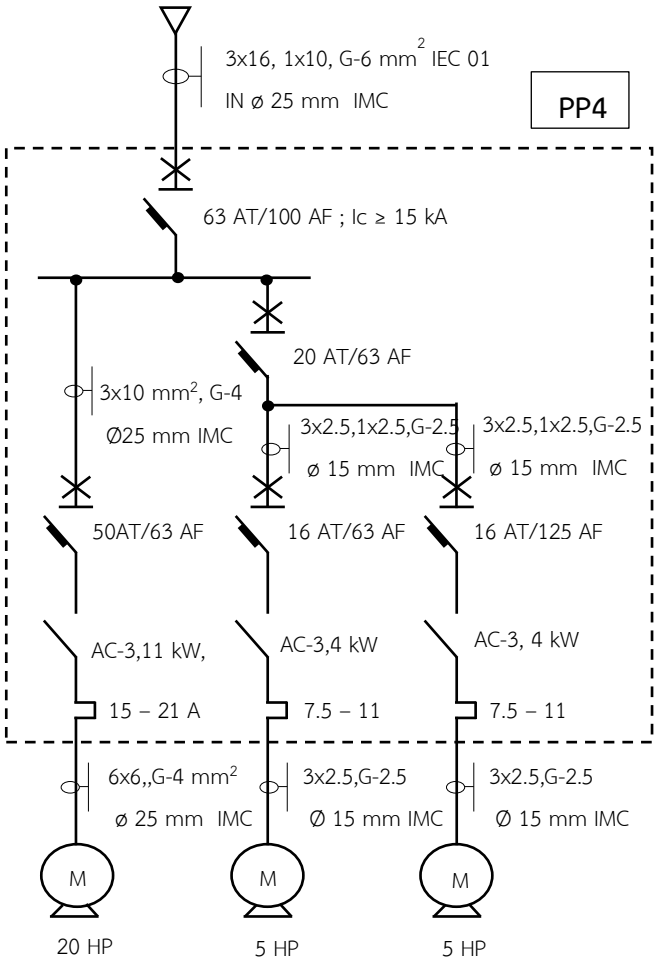
$I_{CB,F} = I_{CB,MAX} + \sum I_M$

$I_{CB,F} = 50 + 7.4 + 7.4 = 64.8$ A

ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน ขนาด 63 AT

ใช้สายดินขนาด 6 mm^2 ขนาดท่อโลหะ 25 mm

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



นำโหลดของทุกแผงย่อยมาเขียนลงในตารางโหลดของแผงเมนสวิตช์ (MDB) ได้ดังนี้

ตารางโหลด

แผงเมนสวิตช์ MDB สถานที่ ห้องไฟฟ้า

พิกัดบัสบาร์ 630 A 3 เฟส 4 สาย 6 วงจร

FEEDER	DESCRIPTION	LOAD (kVA)				CIRCUIT BREAKER			WIRE & RACEWAYS
		A	B	C	TOTAL	P	AT	AF	
PP1	เครื่องเชื่อมไฟฟ้า/เตาหลอม	16.66	6.66	6.68	30	3	100	160	4 x 25 mm^2, G - 10 mm^2 IEC 01 IMC ø 40 mm
PP2	ชุดเครื่องจักรโซน1	31.51	31.51	31.54	94.56	3	160	250	3 x 70 mm^2, 1 x 35, G - 16 mm^2 IEC 01 IMC ø 50 mm
PP3	ชุดเครื่องจักรโซน 2	23.90	23.90	23.92	71.72	3	160	250	3 x 70 mm^2, 1 x 35, G - 16 mm^2 IEC 01 IMC ø 50 mm
PP4	ชุดรางปั้นจั่น	9.88	9.88	9.90	29.66	3	63	100	3 x 16 mm^2, 1 x 10, G - 6 mm^2 IEC 01 IMC ø 25 mm
LP1	ชุดแสงสว่าง/เต้ารับทั่วไป 1	4.46	4.22	4.08	12.76	3	32	63	4 x 10 mm^2, G - 4 mm^2 IEC 01 IMC ø 25 mm
LP2	ชุดแสงสว่าง/เต้ารับทั่วไป 2	2.60	3.28	3.02	8.90	3	32	6	4 x 10 mm^2, G - 4 mm^2 IEC 01 IMC ø 25 mm
TOTAL		89.01	79.45	79.14	247.60	400 AT/630 AF 3P IC ≥ 50 kA			3 x 185 mm^2, 1 x 95 mm^2, G - 35 mm^2 IEC 01 เดินบนฉนวนลูกถ้วยอากาศแนวตั้ง
		DEMAND FACTOR			0.90				
		DEMAND LOAD			222.84				

ขนาดของสายประธานแรงต่ำ

โรงงานแห่งนี้พิจารณาแล้วว่ามีไม่มีโอกาสใช้ไฟฟ้าพร้อมกัน จึงใช้ดีมานแฟกเตอร์เท่ากับ 0.9 (อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61439-2 สำหรับแผงจ่ายไฟที่จ่ายโหลดลักษณะคล้ายกัน 2-3 แผง) และเลือกเฟสสูงสุด

คำนวณหาพิกัดหม้อแปลงเท่ากับ 89.01 x 0.9 x 3 x 1.20 = 288.40 kVA

เลือกขนาดพิกัดหม้อแปลงที่มีจำหน่าย 315 kVA 22 kV/230-400 V 3 ø 4 W

$$\text{เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำปรับตั้งสูงสุด 100 \%} = \frac{315 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 454.66 \text{ A}$$

เลือกปรับตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ 400 AT/630 AF IC ≥ 50 kA

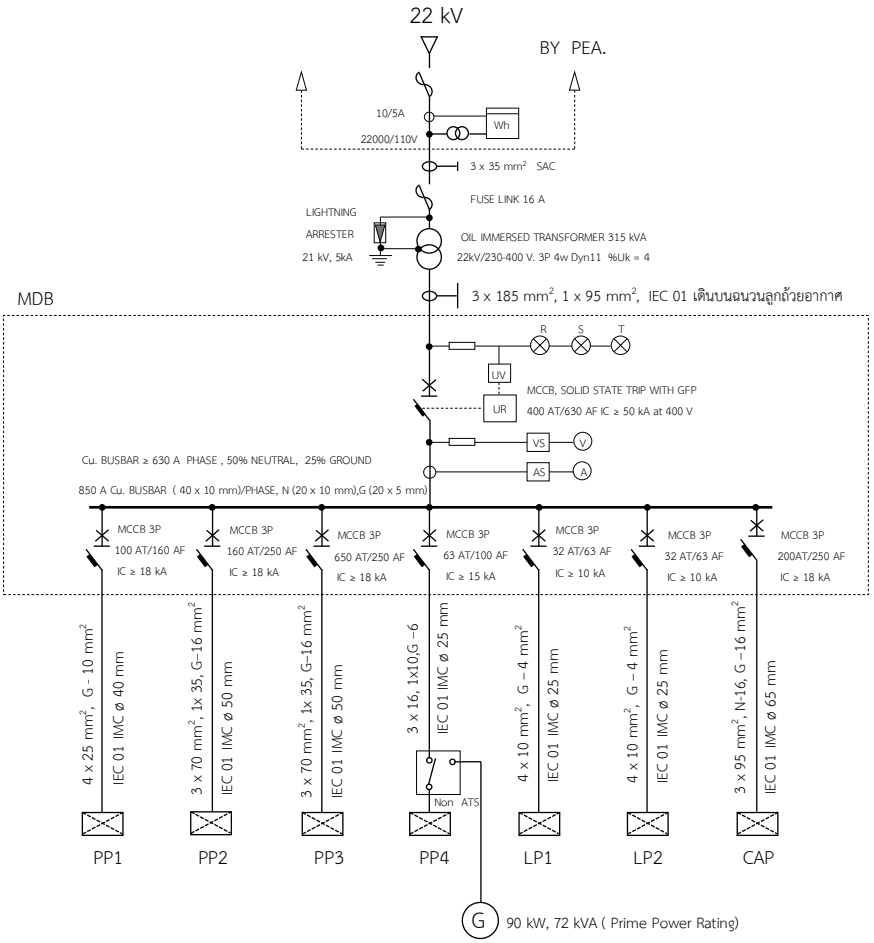
เลือกขนาดสายประธานเส้นไฟ 3 x 185 mm^2 (418 A) สายนิวทรัล 1 x 95 mm^2 (50%) (พิจารณาจากโหลดชนิด 3 เฟสเกิน 40 %) เดินบนฉนวนอากาศแนวตั้ง สายดินขนาด 35 mm^2

ขนาดของสายประธานแรงสูง

$$\text{ฟิวส์ลิงก์สูงสุดไม่เกิน 300 \%} = \frac{315 \times 1{,}000 \times 3}{\sqrt{3} \times 22{,}000} = 24.80 \text{ A}$$

เลือกขนาดฟิวส์ลิงก์ 16 A สาย SAC ขนาด 3 x 35 mm^2

มิเตอร์ประกอบ CT, VT แรงสูง ขนาด 10/5 A และ 22,000/110 V ตามลำดับ เขียนแผนภาพเส้นเดียวได้ดังนี้



แผนภาพเส้นเดียวแผงเมนสวิตช์ (MDB & CAP)

3.2 หาขนาดชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

สำหรับในทางปฏิบัติเมื่อทราบขนาดพิกัดหม้อแปลงแล้วขนาดของคาปาซิเตอร์ประมาณ 30 % ของพิกัดหม้อแปลง

$$kvar_{CAP} = 0.3 \times 315 = 94.5 \text{ kvar}$$

ขนาดคาปาซิเตอร์ขั้นโตสุดที่ยอมรับได้ที่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันขณะปลดและสับชุดคาปาซิเตอร์ คือไม่เกินร้อยละ 0.3 ของแรงดันไฟฟ้าในระบบ ดังนี้

$$\Delta\text{kvar} = \frac{0.003 \times \text{kVA}}{\% \text{ Zk}}$$

$$\Delta\text{kvar} = \frac{0.003 \times 315}{0.04} = 23.63 \text{ kvar}$$

ดังนั้นขนาดคาปาซิเตอร์ขั้นโตสุดไม่ควรเกิน 23.63 kvar เลือกชั้นละ 15 kvar จำนวน 6 ชั้น

ขนาดค่าปรับตั้ง C/K กำหนดให้เปอร์เซ็นต์กระแสของคาปาซิเตอร์ในแต่ละขั้นเท่ากับ 0.60 และเลือกต่อผ่านหม้อแปลงกระแสซึ่งมีอัตราส่วนเท่ากับ 600/5 A หา C/K ได้ดังนี้

$$C/K = \frac{m \times Q \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times K}$$

$$= \frac{0.65 \times 15 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400 \times (600/5)}$$

$$= 0.12$$

ขนาด HRC ฟิวส์ คอนแทกเตอร์และขนาดสายไฟฟ้า

<u>วงจรย่อย</u>

กระแสของวงจรคาปาซิเตอร์แต่ละชุด

$$I_{C\ (3\ เฟส)} = \frac{15 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 21.65\ A$$

ขนาด HRC ฟิวส์แต่ละชุด

$$I_{FUSE} = 1.65 \times I_C$$

$$= 1.65 \times 21.65 = 35.72\ A \quad ; เลือก\ 50\ A$$

ขนาดคอนแทกเตอร์แต่ละชุด

$$I_{DISC} \geq 1.35 \times I_C$$

$$\geq 1.35 \times 21.65 = 29.23\ A \quad ; เลือก\ 27.5\ kvar\ , AC\text{-}6b$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละชุด

$$I_{COND} \geq 1.35 \times I_C$$

$$\geq 1.35 \times 21.65 = 29.23\ A ; เลือก\ 3 \times 6\ mm^2, G\text{ -}6\ IEC\ 01$$

<u>วงจรสายป้อน</u>

กระแสของวงจรคาปาซิเตอร์สายป้อน

$$I_{C\ (3\ เฟส)} = \frac{15 \times 6 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 130\ A$$

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์สายป้อน

$$I_{CB} = 1.50 \times I_C$$

$$= 1.50 \times 130 = 195\ A \quad ; เลือก\ 200\ AT\ , Ic \geq 18\ kA$$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าสายป้อน

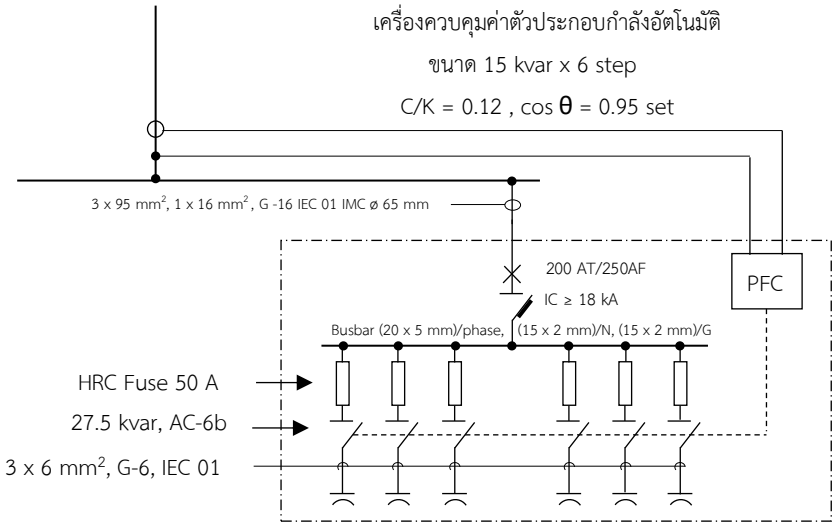
$$I_{COND} \geq 1.35 \times I_C$$

$$\geq 1.35 \times 130 = 176 \text{ A}$$

เลือกขนาดสาย 3 x 95 mm^2, 1 x 16 mm^2 , G -16 IEC 01

และต่อบัสบาร์ (20 x 5 mm), (15 x 2 mm), (15 x 2 mm) ตามลำดับ

สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปด้านล่าง



ขนาดพิกัดเครื่องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ (PFC)

3.3 หาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

<u>แผงย่อย PP4</u> ชุดรางปั้นจั่นสำหรับลำเลียงสินค้า ประกอบด้วยมอเตอร์ทำงานพร้อมกัน 3 ตัวดังนี้

<u>มอเตอร์เกียร์ ขนาด 5 HP</u> สมมุติมี PF = 0.85 , η = 83 %, DOL (จำนวน 2 ตัว)

มอเตอร์แต่ละตัวมี Running kW $= \dfrac{5 \times 0.746}{0.83} = 4.50$ kW

มอเตอร์แต่ละตัวมี Running kVA $= \dfrac{4.50}{0.85} = 5.29$ kVA

มอเตอร์แต่ละตัวมี Starting kVA $= 5.29 \times 6 = 31.74$ SkVA ; DOL

<u>มอเตอร์ปั้นจั่นขนาด 20 HP</u> สมมุติมี PF = 0.86 , η = 89 %, Y-Δ (จำนวน 2 ตัว)

$$\text{มอเตอร์มี Running kW} = \frac{20 \times 0.746}{0.89} = 16.76 \text{ kW}$$

$$\text{มอเตอร์มี Running kVA} = \frac{16.76}{0.86} = 19.49 \text{ kVA}$$

มอเตอร์มี Starting kVA = 19.49 x 2 = 38.98 SkVA ; Y-Δ

รวมโหลดทั้งหมดมาเขียนรูปตาราง ได้ดังนี้

LOAD	kW	kVA	SkVA
มอเตอร์เกียร์ 5 HP	4.5	5.29	31.47
มอเตอร์เกียร์ 5 HP	4.5	5.29	31.47
มอเตอร์ปั้นจั่น 20 HP	16.76	19.49	38.98
Total	25.76	30.07	101.92

จากตารางขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดต้องมีไม่น้อยกว่า 25.76 kW หรือ 32.2 kVA

โจทย์กำหนดแรงดันตกวูบไม่เกิน 20 % SkVA = 1.25 $kVA_{(G)}$ (มอเตอร์ทำงานพร้อมกัน)

$$kVA_{(G)} = \frac{101.92}{1.25} = 81.54 \text{ } kVA_{(G)}$$

เลือกขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 90 kVA, 72 kW

เฉลยคำถามท้ายบทเรียนที่ 14 การป้องกันฟ้าผ่าระบบฟ้าและสิ่งปลูกสร้าง

1. การป้องกันฟ้าผ่าในระบบไฟฟ้า และป้องกันอาคารสิ่งปลูกสร้าง มีวิธีป้องกันอย่างไร

ตอบ การป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้า หมายถึง ระบบป้องกันฟ้าผ่าระบบไฟฟ้าโดยวิธีอาศัยต่อผ่านอุปกรณ์ป้องกันที่เรียกว่ากับดักฟ้าผ่า (Lightning Arresters ; LA) โดยสามารถติดตั้งได้ทั้งในระบบแรงสูงและแรงต่ำ เพื่อป้องกันความเสียหายของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า ซึ่งระบบป้องกันฟ้าผ่ามีหลักการอยู่ว่า เมื่อเกิดฟ้าผ่าต้องพยายามลดแรงดันไฟฟ้าเกินที่ตกคร่อมบริภัณฑ์ไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุด

การป้องกันฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง หมายถึง ระบบที่ทำหน้าที่ลดความเสียหายจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าที่เกิดกับอาคารสิ่งปลูกสร้าง ครอบคลุมทรัพย์สินในอาคาร คนในอาคาร รวมทั้งสัตว์เลี้ยงในบริเวณอาคารด้วย โดยวิธีอาศัยต่อผ่านอุปกรณ์ 3 ส่วน ได้แก่ตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน และระบบรากสายดิน

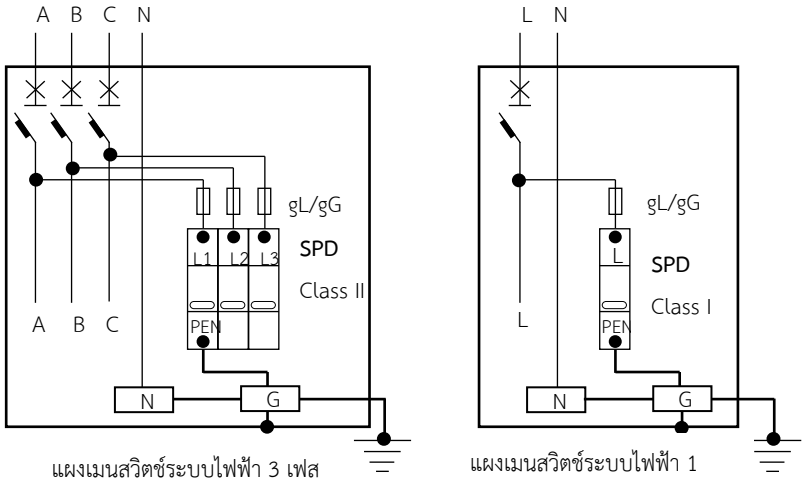
2. Lightning Arrester (LA) และ Surge Protection Device (SPD) คืออุปกรณ์อะไร

ตอบ Lightning Arrester (LA) คืออุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า หรือที่เรียกว่ากับดักฟ้าผ่า ติดตั้งได้ทั้งในระบบแรงสูงและแรงต่ำ เพื่อป้องกันความเสียหายของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า ดังรูปด้านล่าง



กับดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester ; LA)

Surge Protection Device (SPD) คืออุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ทำหน้าที่คล้ายกับ Lightning Arrester แต่จะติดตั้งภายในอาคาร เพื่อต่อเสริมระดับการป้องกันได้อย่างเต็มที่ การใช้งานอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ต้องติดตั้งใช้งานร่วมกับ MCB หรือ Fuse เสมอ และต้องเลือกขนาดพิกัดตามที่ผู้ผลิตกำหนดเท่านั้น ไม่สามารถกำหนดเองได้ เพราะสภาวะที่ SPD ทำงานดิสชาร์จกระแสเสิร์จสูงสุด (Mix. Discharge current) ฟิวส์ หรือ MCB จะต้องไม่ตัดวงจร เพื่อให้ SPD ทำงานได้ การติดตั้งจะต้องติดตั้งใกล้กับอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันให้มากที่สุด โดยทั่วไปจะต้องติดตั้งในตู้เมนสวิตช์แรงต่ำ ดังรูปด้านล่าง



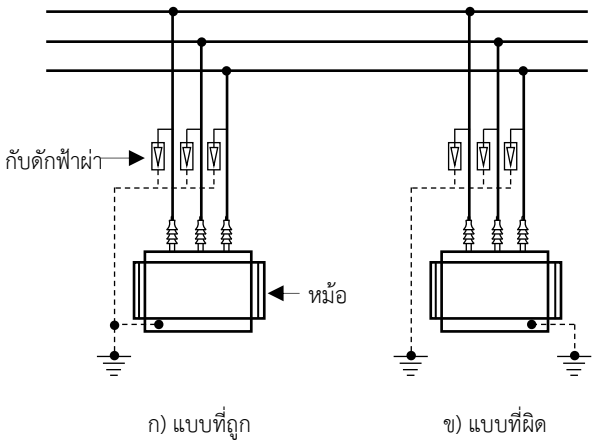
.

การติดตั้ง SPD ในแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ

3. การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าแรงสูง มีข้อกำหนดและพิจารณาอย่างไร

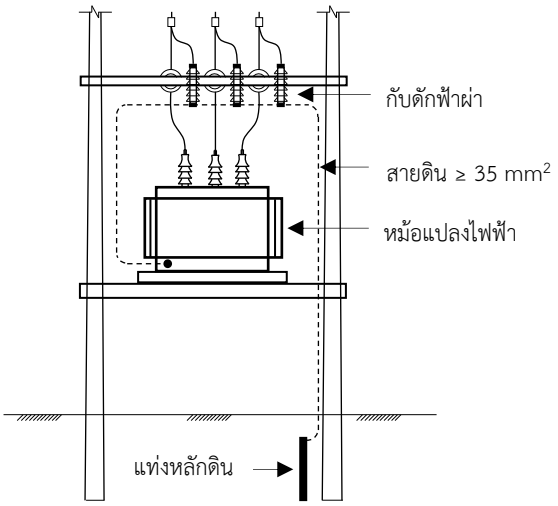
ตอบ การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าในระบบแรงสูง มีข้อกำหนดและพิจารณาสำคัญดังนี้

1. การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าเพื่อป้องกันหม้อแปลง ปกติจะติดตั้งที่ทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าจะต้องต่อร่วมกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลง และต้องพยายามให้สั้นที่สุดเพื่อลดแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า ดังรูปด้านล่าง ก) สายต่อลงดินนี้จะต้องแยกต่างหากกับสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (สายนิวทรัล) เพื่อป้องกันแรงดันเกินนี้ไปทำให้บริภัณฑ์ทางด้านแรงต่ำเสียหายด้วย สำหรับการต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าแยกกับการต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงเป็นคนละเส้นกัน ดังรูปด้านล่าง ข) นั้นเป็นการต่อที่ผิด เนื่องจากขณะเกิดฟ้าผ่าจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้าสูงขึ้น



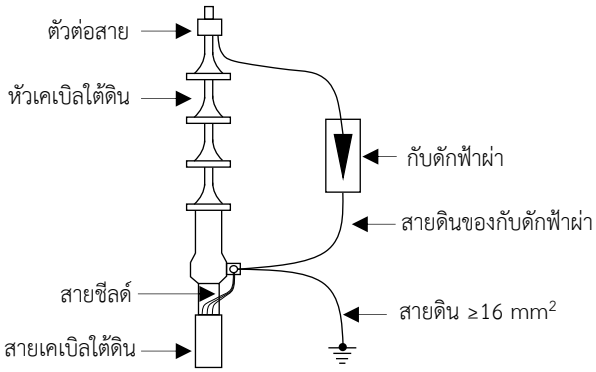
รูปการต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าเพื่อป้องกันหม้อแปลง

ในทางปฏิบัติจึงต้องออกแบบให้สายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่านี้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ กล่าวคืออาจติดตั้งตัวกับดักฟ้าผ่าติดอยู่กับตัวถังหม้อแปลงแล้วต่อลงดินเข้ากับตัวถังหม้อแปลงได้จะยิ่งดี อย่างไรก็ตามสายต่อลงดินไม่ควรมีจุดต่อหรือหากจำเป็นต้องใช้ตัวต่อสายให้แน่นหนาที่สุด ซึ่งการต่อสายดินของกับดักฟ้าผ่าลงตัวถังหม้อแปลงจะให้ผลดีกว่าต่อลงดินโดยตรง ดังรูปด้านล่าง



รูปการต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่หม้อแปลงบนนั่งร้าน

2. การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าเพื่อป้องกันสายเคเบิลใต้ดิน ปกติจะติดตั้งตรงจุดต่อระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับสายเคเบิลอากาศ ซึ่งสายเคเบิลใต้ดินแรงสูงจะมีสายชีลด์สำหรับต่อลงดินเช่นกัน เพื่อป้องกันความเสียหายของสายเคเบิลและบริภัณฑ์ไฟฟ้า การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าจะต้องต่อร่วมกับสายชีลด์ของสายเคเบิลใต้ดิน ด้วยมีจุดประสงค์เช่นเดียวกับการต่อที่หม้อแปลงคือ ช่วยลดแรงดันตกคร่อมระหว่างสายชีลด์กับตัวนำของสายเคเบิลใต้ดินเมื่อมีฟ้าผ่า ดังรูปด้านล่าง ซึ่งขนาดของสายดินในมาตรฐานต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 16 mm^2 เป็นตัวนำทองแดงหรืออลูมิเนียมก็ได้และอาจหุ้มฉนวนหรือสายเปลือยก็ได้



รูปการต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่สายเคเบิลใต้ดิน

3. การเลือกขนาดพิกัดของดักฟ้าผ่า โดยทั่วไปจะพิจารณา 2 องค์ประกอบคือ

1) พิกัดระดับแรงดัน ระบบไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นการต่อลงดินโดยตรง (Solidly Ground) พิกัดกับดักฟ้าผ่าที่การไฟฟ้าฯ เลือกใช้ในระบบจำหน่ายมีดังนี้

กฟน. ระดับแรงดัน 12 , 24 kV ใช้กับดักฟ้าผ่าพิกัด 9 , 21 kV (rms) ตามลำดับ

กฟภ. ระดับแรงดัน 22 , 33 kV ใช้กับดักฟ้าผ่าพิกัด 21 , 30 kV (rms) ตามลำดับ

โดยพิกัดของกับดักฟ้าผ่าดังกล่าวจะมีค่าสูงกว่าแรงดันของระบบประมาณ 30 - 65 % ของแรงดันเทียบกับดิน เช่น ที่ระดับแรงดัน 22 kV (กฟภ.) ใช้กับดักฟ้าผ่าพิกัด 21 kV นั้นมีค่าแรงดันสูงกว่าค่าแรงดันของระบบไฟฟ้า 65% margin เป็นต้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะกับดักฟ้าผ่าต้องไม่ทำงานที่แรงดันเกินแบบชั่วคราว (Temporary Overvoltage) ซึ่งอาจเกิดขึ้นกรณีการปลดโหลดของสายส่งยาวๆ อาจมีค่าแรงดันสูงกว่าต้นทาง โดยถ้ากับดักฟ้าผ่าทำงานเนื่องจากแรงดันเกินดังกล่าว ก็ทำให้กับดักฟ้าผ่าเสียหายได้ เพราะแรงดันที่เกิดขึ้นอาจเป็นนาทีหรือชั่วโมง ดังนั้นการเลือกพิกัดแรงดันของกับดักฟ้าผ่า เพื่อใช้งานในระบบต้องให้มีพิกัดที่แรงดันเกินแบบชั่วคราวไม่สามารถทำให้กับดักฟ้าผ่าทำงานได้

2) พิกัดกระแสถ่ายประจุ (Discharge current) สำหรับพิกัดกระแสคายประจุของกับดักฟ้าผ่าทั่วไปมี 2 แบบคือ แบบใช้กับระบบจำหน่ายทั่วไป พิกัด 5 kA และแบบใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อย พิกัด 10 kA

4. การเลือกขนาดสายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่า พิจารณาตามตำแหน่งการติดตั้งได้ 2 ตำแหน่งคือ

1) ขนาดสายต่อลงดินของกับดักฟ้าภายนอกอาคาร จะต้องต่อร่วมกับตัวถังหม้อแปลง และต้องให้สั้นที่สุดเพื่อลดแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า และต้องแยกต่างหากจากสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำ ขนาดตัวนำต่อลงดินเป็นทองแดงขนาดไม่เล็กกว่า 35 mm^2 หรือเป็นวัสดุทนการกัดกร่อนอื่นที่นำกระแสได้ไม่ต่ำกว่า

2) ขนาดสายต่อลงดินภายในอาคาร ส่วนใหญ่ติดตั้งที่แผงสวิตช์แรงสูง มีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

ก) แผงสวิตช์แรงสูงต้องมีกราวด์บัส (ground bus) ทำด้วยทองแดงที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดตามพิกัดแรงดันของแผงสวิตช์แรงสูง ดังนี้

- แผงสวิตช์ขนาดแรงดัน 11 - 12 kV มีพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 95 mm^2
- แผงสวิตช์ขนาดแรงดัน 22 - 24 kV มีพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 50 mm^2
- แผงสวิตช์ขนาดแรงดัน 33 kV มีพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 35 mm^2

ข) กรณีมีกับดักฟ้าฝ่าหรือเสิร์จอะเรสเตอร์ (surge arrester) สายต่อลงดินของเสิร์จอะเรสเตอร์ต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวนขนาดไม่ต่ำกว่า 16 mm^2 ทนแรงดันไม่น้อยกว่า 1,000 V ต่อร่วมกับชีลด์ของสายเคเบิลแรงสูงในแผงสวิตช์ และต้องแยกออกจากบัสต่อลงดินของแผงสวิตช์ โดยติดตั้งบนฉนวนที่มีระดับรงดัน (voltage class) ไม่น้อยว่า 1,000 V

ค) โครงตู้และบานประตูทุกบานของแผงสวิตช์แรงสูงต้องต่อลงดิน โดยใช้สายต่อฝากลงดินที่กราวด์บัส สายต่อฝากต้องทนกระแสลัดวงจรค่ามากที่สุดที่อาจเกิดขึ้นที่แผงสวิตช์นั้นได้ หรือใช้สายทองแดงที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่ต่ำกว่า 10 mm^2 หรืออาจมีหนังสือรับรองจากผู้ผลิตว่าผ่านการทดสอบแล้ว

ง) สายดินและหลักดินของแผงสวิตช์แรงสูง ต้องแยกออกจากแผงสวิตช์แรงต่ำด้วย

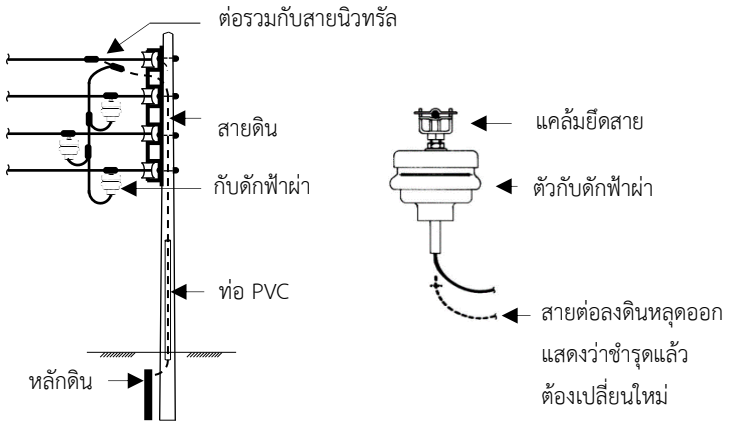
4. การต่อลงดินของกับดักฟ้าแรงต่ำภายในและภายนอกอาคาร มีหลักการและวิธีการอย่างไร

ตอบ **การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าแรงต่ำในอาคาร** โดยต่อผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge Protection Device ; SPD) สามารถแบ่งตามโซนการติดตั้งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่ม SPD กระจายกระแสฟ้าผ่า กลุ่มนี้มีความสามารถในการกระจายกระแสไฟผ่าบางส่วนที่มีพลังงานมากโดยที่ตัวมันเองหรืออุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตัวอื่น ๆ ไม่ได้รับความเสียหาย ตำแหน่งการติดตั้งอยู่ในโซนที่มีโอกาสถูกฟ้าผ่าโดยตรง ที่ยังไม่มีการลดทอนขนาดกระแสฟ้าผ่า ซึ่งถูกทดสอบด้วยรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าขนาด 10/350 μs

2. กลุ่ม SPD กระจายแรงดัน กลุ่มนี้มีความสามารถในจำกัดแรงดันที่เกิดขึ้นจากเสิร์จ เพื่อไม่ให้เกินค่าที่จะทำความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ตำแหน่งการติดตั้งอยู่หลังโซนข้อ 1. เข้าไป ที่มีการลดทอนขนาดกระแสฟ้าผ่าครึ่งหนึ่งแล้ว โดยถูกทดสอบด้วยรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าขนาด 8/20 μs และหรือทดสอบด้วยรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ขนาด 1.2/50 μs

การต่อลงดินของกับดักฟ้าแรงต่ำภายนอกอาคาร โดยต่อผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Lightning Arresters (LA) หรือกับดักเสิร์จ (Surge Arresters) เช่นเดียวกันกับแรงสูง แต่จะมีพิกัดต่างกัน ปกติจะติดตั้งที่ทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลง และต้องต่อร่วมกับสายนิวทรัล แล้วต่อลงดินให้สั้นที่สุดเพื่อลดแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า ดังรูปด้านล่าง ก) สายต่อลงดินนี้จะต้องแยกต่างหากกับสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงสูง เพื่อป้องกันแรงดันเกินจากระบบแรงสูงมาทำให้บริภัณฑ์ทางด้านแรงต่ำเสียหายได้ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแรงต่ำที่มีจำหน่ายทั่วไปมีขนาด 250 - 500 V พิกัด 2.5 – 5.0 kA ดังรูปด้านล่าง ข)



ก) การต่อกับดักฟ้าผ่า ข) กับดักฟ้าผ่า

รูปการต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่านอกอาคาร

5. ตามมาตรฐาน IEC 61643-11 ได้แบ่ง Class ของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบ่งได้กี่กลุ่ม อะไรบ้าง

ตอบ ตามมาตรฐาน IEC 61643-11 ได้แบ่งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตามรูปคลื่นกระแสหรือแรงดันอิมพัลส์ทดสอบได้เป็น 3 Class ดังตารางด้านล่าง ซึ่ง SPD แต่ละคลาสมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานป้องกันเสิร์จที่เกิดจากฟ้าผ่าในลักษณะที่ต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจและพิจารณาเลือกอย่างเหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 14.1 ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบ่งตามรูปคลื่นกระแสหรือแรงดันอิมพัลส์ทดสอบ

มาตรฐาน	ฟ้าผ่าโดยตรง	ฟ้าผ่าโดยอ้อม	
IEC 61643-11 : 2012	Type 1	Type 2	Type 3
IEC 61643-11 : 2011	Class I	Class II	Class III
รูปคลื่นทดสอบ	10/350 μs	8/20 μs	1.2/50 μs + 8 /20 μs

6. เพราะเหตุใดการต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าของระบบแรงสูงถึงแยกจากระบบแรงต่ำ

ตอบ เพราะเพื่อป้องกันแรงดันเกินจากระบบแรงสูงมาทำให้บริภัณฑ์ทางด้านแรงต่ำเสียหายได้ ทั้งนี้อาจมีการต่อสายดินหลักดินของกับดักฟ้าผ่าระบบแรงสูงเข้ากับระบบแรงต่ำได้ในกรณีค่าความต้านทานของหลักดินไม่เกิน 1 โอห์ม และจุดติดตั้งอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 1 กม. ได้

7. ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าอาคารสิ่งปลูกสร้าง แบ่งได้กี่ส่วน อะไรบ้าง

ตอบ ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าอาคารสิ่งปลูกสร้าง แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. ตัวนำล่อฟ้า หมายถึงตัวนำที่ทำหน้าที่รับกระแสฟ้าผ่าโดยตรงจากก้อนเมฆเพื่อถ่ายเทกระแสฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน
2. ตัวนำลงดิน หมายถึง ตัวนำที่ทำหน้าที่นำกระแสฟ้าผ่าจากตัวนำล่อฟ้าลงสู่พื้นดิน
3. ระบบรากสายดิน หมายถึง ตัวนำที่ทำหน้าที่กระจายกระแสฟ้าผ่าลงดินสู่พื้นดิน

8. ตัวนำล่อฟ้ามีกี่แบบ แต่ละแบบมีลักษณะและหน้าที่อย่างไร

ตอบ ตัวนำล่อฟ้ามี 3 แบบแต่ละแบบมีลักษณะและหน้าที่

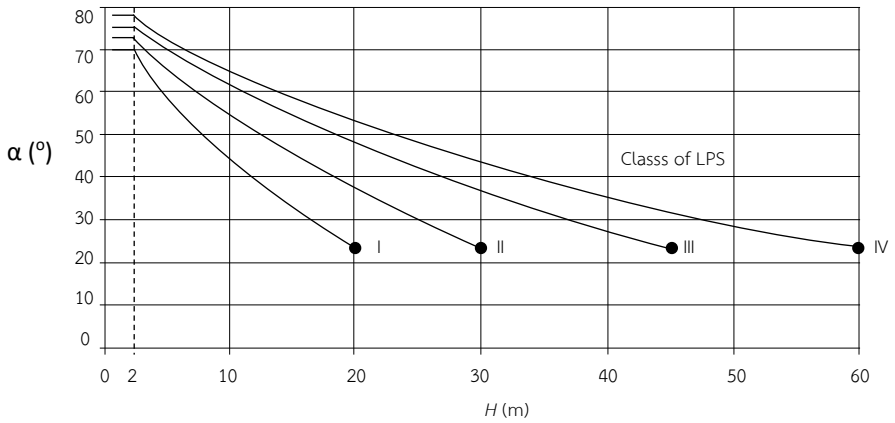
1. ตัวนำล่อฟ้าแบบแท่ง (Lightning Rod) มีลักษณะเป็นแท่งตัวนำติดตั้งบนฐานรองรับอย่างมั่นคงบนหลังคาภายนอกอาคาร ที่มุมโครงสร้าง หรือขอบโครงสร้างของอาคาร มีหน้าที่การป้องกันเป็นลักษณะคล้ายกับกรวยสามเหลี่ยม ส่วนของอาคารที่อยู่ภายในกรวยสามเหลี่ยมจะได้รับการป้องกันฟ้าผ่า
2. สายตัวนำล่อฟ้าแบบขึง (Stretch Wire) เป็นลักษณะการติดตั้งสายตัวนำที่ปลายเสาซึ่งติดตั้งอยู่บนฐานรองรับอย่างมั่นคง อาจจะติดตั้งบนหลังคาภายนอกอาคาร หรือติดตั้งบนพื้นดินภายนอกอาคารเพื่อป้องกันอาคารหรืออาจเป็นถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง มีหน้าที่ป้องกันเป็นลักษณะกรวยสามเหลี่ยมที่เรียงต่อเนื่องที่เสมือนเชื่อมยอดของกรวยเข้าด้วยกันคล้ายเส้นรูปสามเหลี่ยม

3. ตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่าย (Mashed Conductor) เป็นลักษณะการติดตั้งแนบชิดกับพื้นหรือติดตั้งลอยจากพื้นเล็กน้อย ที่ขอบอาคารตามแนวอาคาร และเชื่อมประสานทำเป็นตารางบนหลังคาภายนอกอาคาร มีหน้าที่ป้องกันเป็นลักษณะตาข่าย เหมาะสำหรับอาคารประเภทหลังคาคอนกรีตเรียบ

9. การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้า สามารถทำได้กี่วิธี แต่ละวิธีมีพิจารณาอย่างไร

ตอบ การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้า สามารถทำได้ 3 วิธี แต่ละวิธีมีพิจารณาดังนี้

1. การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าเมื่อใช้วิธีมุมป้องกัน เหมาะสมกับอาคารที่มีรูปร่างทั่วไป แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความสูงของตัวนำล่อฟ้า ตามรูปด้านล่าง การวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าถือได้ว่าเพียงพอเมื่อสิ่งปลูกสร้างที่ป้องกันทั้งหมดอยู่ในปริมาตรป้องกันโดยระบบตัวนำล่อฟ้า ในการหาปริมาตรป้องกันจะต้องพิจารณามิติทางกายภาพของระบบตัวนำล่อฟ้าที่เป็นโลหะเท่านั้น



หมายเหตุ 1. ค่าที่เกินเครื่องหมาย • ในกราฟใช้วิธีมุมป้องกันไม่ได้ ให้ใช้วิธีทรงกลมกลิ้งหรือตาข่ายเท่านั้น
2. *H* คือความสูงของตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นที่ระนาบอ้างอิงของพื้นที่ที่จะป้องกัน
3. ค่าของมุมป้องกันมีค่าคงที่สำหรับความสูง *H* ที่ต่ำกว่า 2 m

รูปค่าสูงสุดของมุมป้องกันตามระดับชั้นของ LPS

สามารถย่อยแบ่งได้ 3 กรณี ได้แก่

ก) ปริมาตรป้องกันของระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแนวดิ่ง

ข) ปริมาตรป้องกันโดยระบบสายตัวนำล่อฟ้า

ค) ปริมาตรป้องกันโดยสายร่วมกันเป็นลวดตาข่าย

2. การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าเมื่อใช้วิธีทรงกลมกลิ้ง สามารถใช้ได้ในทุกกรณี การวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าถือได้ว่าเพียงพอ เมื่อไม่มีจุดใดจุดหนึ่งของสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันมาสัมผัสกับทรงกลมที่มีรัศมี (r) ซึ่งขึ้นอยู่กับชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ดังตารางด้านล่าง

ตารางค่ามุมป้องกัน รัศมีของทรงกลมกลิ้ง และขนาดตาข่าย สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าแต่ละชั้น

ระดับชั้นของ LPS	วิธีป้องกัน		
	รัศมีของทรงกลมกลิ้ง r (m)	ขนาดตาข่าย W (m)	มุมป้องกัน α°
I	20	5 X 5	ตามรูปด้านบน
II	30	10 X 10	
III	45	15 X 15	
IV	60	20 X 20	

3. <u>การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าเมื่อใช้วิธีตาข่าย</u> เป็นวิธีป้องกันที่เหมาะสำหรับป้องกันพื้นผิวที่เป็นระนาบ การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่ายถือว่าป้องกันพื้นผิวได้ทั้งหมด

10. การพิจารณาเลือกระดับชั้นการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305 แบ่งได้กี่ระดับ อะไรบ้าง

<u>ตอบ</u> การตัดสินใจเลือกระดับชั้นของการป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection Level ; LPS) ของอาคารสิ่งปลูกสร้าง ขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงว่ามีความจำเป็นและคุ้มค่าต้นทุนเพียงใด โดยตามมาตรฐาน IEC 62305 ได้กำหนดค่ากระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่ 200 kA ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ

ระดับที่ I ดักจับกระแสฟ้าผ่า 3-200 kA และนำกระแสฟ้าผ่าลงดินโดยปลอดภัย มีประสิทธิภาพในการป้องกัน 99 %

ระดับที่ II ดักจับกระแสฟ้าผ่า 5-150 kA และนำกระแสฟ้าผ่าลงดินโดยปลอดภัย มีประสิทธิภาพในการป้องกัน 97 %

ระดับที่ III ดักจับกระแสฟ้าผ่า 10-100 kA และนำกระแสฟ้าผ่าลงดินโดยปลอดภัย มีประสิทธิภาพในการป้องกัน 91 %

ระดับที่ IV ดักจับกระแสฟ้าผ่า 16-100 kA และนำกระแสฟ้าผ่าลงดินโดยปลอดภัย มีประสิทธิภาพในการป้องกัน 84 %

<u>ถ้าไม่มีข้อกำหนด อาจเลือกใช้ระดับการป้องกันที่ III เป็นอย่างต่ำ</u>

11. ตัวนำล่อฟ้าแบบแท่งแนวดิ่ง และสายร่วมเป็นลวดตาข่าย มีมุม (α) และมีปริมาตรป้องกันอย่างไร

ตอบ ตัวนำล่อฟ้าแบบแท่งแนวดิ่งมีมุม (α) และปริมาตรป้องกันคือ สมมติเป็นรูปกรวยกลมตรง โดยจุดยอดอยู่บนแกนของตัวนำล่อฟ้า และมีกึ่งมุมยอดเท่ากับ α ที่มีค่าขึ้นอยู่กับชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่าและความสูงของระบบตัวนำล่อฟ้า ตัวอย่างของปริมาตรป้องกันแสดงไว้ในรูปด้านล่าง

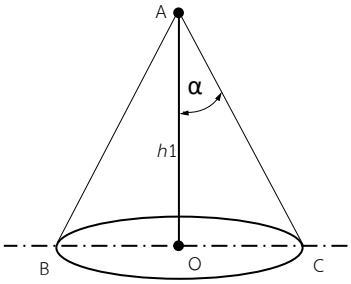
A คือ จุดยอดของแท่งตัวนำล่อฟ้า

B คือ ระนาบอ้างอิง

OC คือ รัศมีของบริเวณป้องกัน

*h*1 คือ ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือระนาบอ้างอิงของบริเวณที่จะป้องกัน

α คือ มุมป้องกันตามตารางที่ 14.2

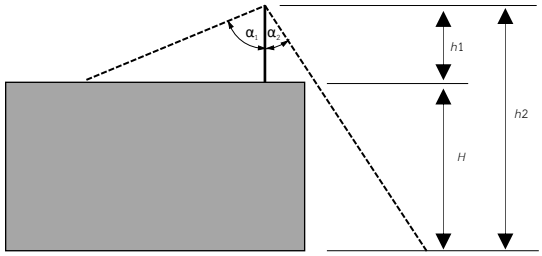


ปริมาตรป้องกันโดยแท่งตัวนำล่อฟ้าแนวดิ่ง

h1 คือ ความสูงทางกายภาพของแท่งตัวนำล่อฟ้าแนวดิ่ง

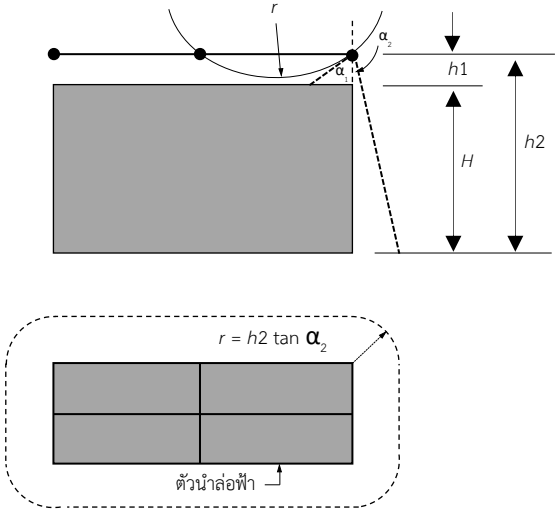
α1 คือ มุมป้องกันตามความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า h1 ซึ่งเป็นความสูงเหนือพื้นผิวหลังคาที่จะป้องกัน

α2 คือมุมป้องกันตามความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า *h*2 โดยที่พื้นเป็นระนาบอ้างอิง (*h*2 = *h*1+*H*)

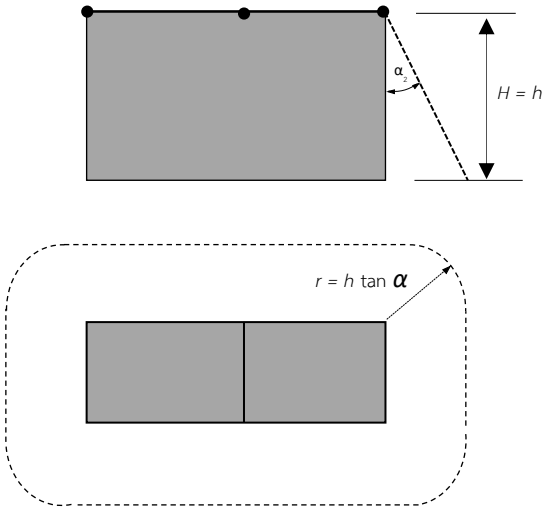


ปริมาตรป้องกันโดยแท่งตัวนำล่อฟ้าแนวดิ่ง

ตัวนำล่อฟ้าแบบสายร่วมเป็นลวดตาข่าย มีมุม (α) และมีปริมาตรป้องกัน คือการรวมของปริมาตรที่หาโดยตัวนำเส้นเดี่ยวหลายเส้นที่ประกอบกันเป็นตาข่าย แยกได้ 2 แบบคือ แบบแยกอิสระจากสิ่งปลูกสร้าง และแบบสัมผัสกับสิ่งปลูกสร้าง ดังแสดงดังรูปด้านล่างตามลำดับ



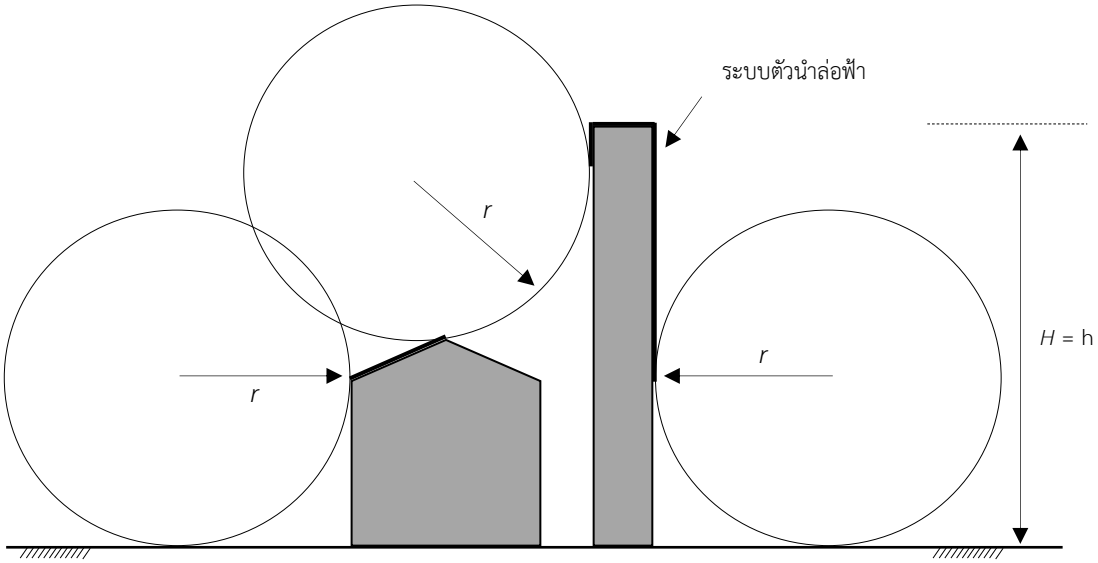
ปริมาตรป้องกันโดยสายร่วมกันเป็นลวดตาข่ายที่แยกอิสระจากสิ่งปลูกสร้างตามวิธีมุมป้องกัน และวิธีทรงกลมกลิ้ง



ปริมาตรป้องกันโดยสายร่วมกันเป็นลวดตาข่ายที่ไม่แยกอิสระตามวิธีตาข่ายและวิธีมุมป้องกัน

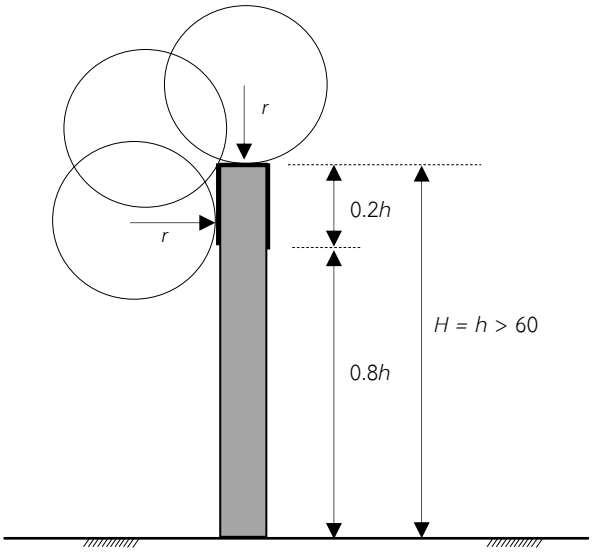
12. การป้องกันฟ้าผ่าเมื่อใช้วิธีทรงกลมกลิ้ง (รัศมี r) มีปริมาตรป้องกันอย่างไร

<u>ตอบ</u> การป้องกันฟ้าผ่าเมื่อใช้วิธีทรงกลมกลิ้ง (รัศมี r) มีปริมาตรป้องกัน คือกลิ้งทรงกลมรัศมี r ไปโดยรอบของสิ่งปลูกสร้างทุกทิศทางที่เป็นไปได้ ทรงกลมนี้จะสัมผัสกับระบบตัวนำล่อฟ้าเท่านั้น แสดงในรูปด้านล่าง



การออกแบบตัวนำล่อฟ้าตามวิธีทรงกลมกลิ้ง

สำหรับในทางปฏิบัติสิ่งปลูกสร้างที่สูงกว่ารัศมีของทรงกลมกลิ้ง (r) อาจเกิดวาบฟ้าผ่าลงด้านข้างของสิ่งปลูกสร้างได้ แต่อย่างไรก็ตามความน่าจะเป็นของวาบฟ้าผ่าลงด้านข้างมีน้อย ซึ่งสิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงต่ำกว่า 60 เมตร อาจไม่ต้องนำมาคิดก็ได้ ส่วนกรณีสิ่งปลูกสร้างที่สูงกว่า 60 เมตร ส่วนใหญ่ของวาบฟ้าผ่าทั้งหมดจะผ่าส่วนบนสุด ขอบที่ยื่นออกไปในแนวระดับ และมุมของสิ่งปลูกสร้าง มีเพียง 2-3 % เท่านั้นของวาบฟ้าผ่าทั้งหมดจะผ่าที่ด้านข้างของสิ่งปลูกสร้าง ดังนั้นจึงอาจติดตั้งตัวนำล่อฟ้าคลุมเฉพาะพื้นที่ปิดจากด้านบนของอาคารลงมาประมาณ 20 % เท่านั้นของความสูงอาคาร ดังรูปด้านล่าง



กรณีสิ่งปลูกสร้างที่สูงกว่า 60 เมตร

13. การป้องกันฟ้าผ่าเมื่อใช้วิธีใช้วิธีตาข่าย (W) มีปริมาตรป้องกันอย่างไร

ตอบ การป้องกันฟ้าผ่าเมื่อใช้วิธีใช้วิธีตาข่าย (W) มีปริมาตรป้องกัน คือเป็นวิธีป้องกันที่เหมาะสำหรับป้องกันพื้นผิวที่เป็นระนาบ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่อไปนี้

- ตัวนำล่อฟ้ามีการวางไว้ที่ตำแหน่งแนวขอบหลังคา ส่วนที่ยื่นออกมาของหลังคากับแนวเส้นสันหลังคาต้องมีความชันของหลังคามากกว่า 1/10
- มิติของตาข่ายของโครงข่ายตัวนำล่อฟ้าไม่ใหญ่กว่าค่าที่กำหนดในตารางขนาดตาข่าย W (m) ด้านบน
- โครงข่ายของระบบตัวนำล่อฟ้าติดตั้งในลักษณะที่กระแสฟ้าผ่ามีเส้นทางโลหะอย่างน้อย 2 เส้นทาง ที่ไหลลงสู่รากสายดินแยกกันอย่างชัดเจน
- ไม่มีสิ่งติดตั้งโลหะยื่นออกไปนอกปริมาตรป้องกันของระบบตัวนำล่อฟ้า
- ตัวนำล่อฟ้าทั้งหมดให้เดินตามทางที่สั้นที่สุดและตรงที่สุดเท่าที่จะทำได้

14. ตัวนำลงดิน ระบบรากสายดิน มีหน้าที่และลักษณะการติดตั้งอย่างไร

ตอบ **ตัวนำลงดิน** มีทำหน้าที่นำกระแสฟ้าผ่าจากตัวนำล่อฟ้าลงสู่พื้นดิน เพื่อลดความเสียหายเนื่องจากกระแสฟ้าผ่าที่ไหลในระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยลักษณะการติดตั้งการติดตั้งตัวนำลงดินต้องจัดให้มีเส้นทางไหล

ของกระแสหลายเส้นทางและมีความยาวของเส้นทางกระแสไหลสั้นที่สุด ตรงที่สุดและมีการประสานศักย์เข้ากับโลหะส่วนที่นำไฟฟ้าได้ของโครงสร้างอาคาร และควรเชื่อมต่อสายตัวนำลงดินเข้าด้วยกันในแนวขวางที่ระดับพื้น และที่ระดับความสูง 10 - 20 เมตร การจัดวางตำแหน่งตัวนำลงดิน
แบ่งได้ 2 แบบ ได้แก่

1. การจัดวางตำแหน่งตัวนำลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแยกอิสระ

ก) ถ้าตัวนำล่อฟ้าประกอบด้วยแท่งตัวนำหลายแท่งบนเสาหลายต้นแยกกัน (หรือต้นเดียว) ที่ไม่ได้ทำจากโลหะหรือเหล็กเสริมแรงไม่ได้ต่อถึงกัน ต้องมีตัวนำลงดินอย่างน้อย 1 เส้นสำหรับเสาแต่ละต้น ในกรณีที่เสาหลายต้นนั้นทำด้วยโลหะหรือเหล็กเสริมแรงต่อถึงกันไม่จำเป็นต้องเพิ่มตัวนำลงดินอีก

ข) ถ้าตัวนำล่อฟ้าประกอบด้วยสายตัวนำขึงหลายเส้น (หรือเส้นเดียว) ต้องมีตัวนำลงดินอย่างน้อย 1 เส้น ที่แต่ละโครงสร้างรองรับ

ค) ถ้าตัวนำล่อฟ้าเป็นโครงข่ายของตัวนำ ต้องมีตัวนำลงดินอย่างน้อย 1 เส้น ที่แต่ละปลายของโครงสร้างรองรับ

2. การจัดวางตำแหน่งตัวนำลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าไม่แยกอิสระ ระบบป้องกันฟ้าผ่าไม่แยกอิสระแต่ละระบบต้องมีจำนวนตัวนำลงดินไม่น้อยกว่า 2 เส้น และควรจะกระจายโดยรอบตามเส้นรอบรูปสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน โดยขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางสถาปัตยกรรมและทางปฏิบัติอื่นๆ

ระบบรากสายดิน มีทำหน้าที่กระจายกระแสฟ้าผ่าลงดินสู่พื้นดิน ซึ่งระบบรากสายดินจะต้องมีค่าความต้านทานการต่อลงดินที่ต่ำ คือไม่เกิน 10 โอห์ม เพื่อไม่ให้เกิดกระแสและแรงดันเกินจนเป็นอันตราย ลักษณะการติดตั้งระบบรากสายดินสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสม เช่น แบบแนวดิ่ง แบบแนวนอน แบบวงแหวน เป็นต้น

15. วัสดุประกอบของระบบป้องกันฟ้าต้องมีคุณสมบัติอย่างไร

ตอบ วัสดุประกอบทุกชิ้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ต้องมีคุณสมบัติทนต่อผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากกระแสฟ้าผ่าและความเครียดที่คาดการณ์ว่าอาจเกิดขึ้นโดยไม่เสียหาย โดยวัสดุประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า ต้องทำจากวัสดุที่มีคุณลักษณะเชิงสมรรถนะเทียบเท่าในทางกล ทางไฟฟ้า และทางเคมี (การกัดกร่อน) เช่น

1. การจับยึด ต้องมีการจับยึดอย่างมั่นคง เพื่อไม่ให้แรงกระทำที่เกิดจากไฟฟ้าพลวัตหรือแรงทางกลอื่นที่อาจเกิดขึ้น เช่น การสั่นสะเทือน การขยายตัวเนื่องจากความร้อน เป็นต้น ทำให้ตัวนำขาด หลุด หรือ หลวม

2. การต่อ จำนวนจุดเชื่อมต่อของตัวนำในระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องมีน้อยที่สุด การต่อต้องทำให้แข็งแรง โดยใช้การเชื่อมประสาน การขันด้วยแคลมป์ การบีบอัด การเชื่อมตะเข็บ การยึดด้วยสกรู

3. วัสดุและมิติ วัสดุและมิติองค์ประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า ต้องเลือกโดยตระหนักถึงความเป็นไปได้ในการสึกกร่อนของสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันและอุปกรณ์ระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยวัสดุโครงแบบและพื้นที่หน้าตัดต่ำสุดของตัวนำล่อฟ้า แท่งตัวนำลงดิน และสายตัวนำลงดิน แสดงในตารางด้านล่าง

ตารางแสดงวัสดุ โครงแบบและพื้นที่หน้าตัดต่ำสุดของตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดินและรากสายดิน

วัสดุ	โครงแบบ	ตัวนำล่อฟ้า (mm^2)	ตัวนำลงดิน (mm^2)	รากสายดิน		
				แท่ง ø (mm.)	รากสาย (mm^2)	แผ่น (mm.)
ทองแดง	เทปตัน หนา 2 mm.	50	50	-	50	-
	กลมตัน หนา 8 mm.	50	50	-	50	-
	กลมตัน หนา 16 mm.	200	-	15	50	-
	ตีเกลียว แต่ละเส้น 1.7 mm.	50	50	-	50	-
	ท่อ ผนังท่อหนา 2 mm.	-	-	20	-	-
	แผ่นทึบ หนา 2 mm.	-	-	-	-	500 x 500
	แผ่นตาข่าย หน้าตัด 25 x 2 mm	--	-	-	-	600 x 600
ทองแดงเคลือบดีมุก	เทปตัน หนา 2 mm.	50	50	-	-	-
	กลมตัน หนา 8 mm.	50	50	-	-	-
	ตีเกลียว แต่ละเส้น 1.7 mm.	50	50	-	-	-
อลูมิเนียม	เทปตัน หนา 3 mm.	70	70	-	-	-
	กลมตัน หนา 8 mm.	50	50	-	-	-
	ตีเกลียว แต่ละเส้น 1.7 mm.	50	50	-	-	-
อลูมิเนียมเจือ	เทปตัน หนา 2.5 mm.	50	50	-	-	-
	กลมตัน หนา 8 mm.	50	50	-	-	-
	กลมตัน หนา 16 mm.	200	-	-	-	-
	ตีเกลียว แต่ละเส้น 1.7 mm.	50	-	-	-	-
เหล็กเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน	เทปตันหนา 2.5 mm.	50	50	-	-	-
	กลมตัน หนา 8 mm.	50	50	-	-	-
	กลมตัน หนา 16 mm.	200	-	200	-	-
	ตีเกลียว แต่ละเส้น 1.7 mm.	50	50	-	--	-
เหล็กกล้าไร้สนิม	เทปตันหนา 2 mm.	50	-	-	100	-
	กลมตัน หนา 8 mm.	50	-	15	ø 10 mm.	-
	กลมตัน หนา 16 mm.	200	-	15	-	-
	ตีเกลียว (แต่ละเส้น 1.7 mm.)	70	70	-	-	-
เหล็กกล้า	กลมตันเคลือมสังกะสี	--	-	16	ø 10 mm.	
	ท่อเคลื่อมสังกะสี (ผนังท่อหนา 2 mm.)	-	-	25	-	-
	เทปตันเคลื่อมสังกะสี (หนา 3 mm.)	-	-	-	90	-
	แผ่นทึบเคลือบสังกะสี หนา 2 mm.	-	-	-	-	500 x 500
	แผ่นตาข่ายเคลื่อบสังกะสี (หน้าตัด 30 x 3 mm.)	-	-	-	-	600 x 600
	กลมตันเคลือบทองแดง (ทองแดง 99.9% รัศมีต่ำสุด 250 ไมโครเมตร)	-	-	14	-	-
	กลมเปลือย ฝังในคอนกรีต	-	-	-	ø 10 mm.	
	ตีเกลียวเคลือบสังกะสี (แต่ละเส้น 1.7 mm.)	-	-	-	70	-
	หน้าตัดกากบาทเคลือบสังกะสี	-	-	50x50x3	-	-