



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



คู่มือผู้เรียน
สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

- 
1. วิชาการส่องสว่าง
 2. วิชาเครื่องปรับอากาศ
 3. วิชาการควบคุมมอเตอร์
 4. วิชาหม้อแปลงไฟฟ้า

โครงการพัฒนาหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงาน
และพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

คู่มือผู้เรียน

สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

วิชาการส่องสว่าง	(2104-2113)
วิชาเครื่องปรับอากาศ	(2104-2106)
วิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	(2104-2009)
วิชาหม้อแปลงไฟฟ้า	(2104-2104)

โครงการพัฒนาหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงาน
และพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
เมษายน 2558

คำนำ

โครงการพัฒนาหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนสำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ปรับปรุง พัฒนา Simulation Program หรือ สื่อ e-learning และสื่อการสอน ชุดคู่มือผู้สอน ชุดคู่มือผู้เรียน ด้านไฟฟ้าและด้านเครื่องกลที่ใช้สำหรับประกอบการเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม (ที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน) สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาสำหรับใช้สอนนักเรียน นักศึกษาอาชีวศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) โดยสอดคล้องกับหลักสูตรของอาชีวศึกษาที่พัฒนาขึ้นใหม่และไม่เป็นภาระแก่ครูผู้สอน และเพื่อทดสอบหลักสูตรและสื่อที่พัฒนาขึ้นให้กับครูผู้สอนที่ได้รับการคัดเลือกจากสถาบันการอาชีวศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

การดำเนินการโครงการมีกระบวนการในการพิจารณาคัดเลือกรายวิชาในหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2556 ในสาขาวิชาช่างยนต์และสาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง และในหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2557 ในสาขาวิชาเทคนิคเครื่องกลและสาขาวิชาไฟฟ้า อีกทั้งมีการดำเนินการพิจารณาคัดเลือกหน่วยวิชา จัดทำและพัฒนาสื่อการเรียนการสอน คู่มือผู้สอน คู่มือผู้เรียน และคู่มือ ทดสอบและปรับปรุงจนสำเร็จเรียบร้อย

การดำเนินโครงการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความร่วมมือจากหลายๆ หน่วยงาน ทั้งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญและคณาจารย์จากสถานศึกษาอาชีวศึกษา ที่ได้ร่วมกันพิจารณาและปรับปรุงจนสื่อการเรียนการสอนและคู่มือต่างๆ มีความครบถ้วนสมบูรณ์

เมษายน 2558



สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ

i

รายวิชาที่ 1 : การส่องสว่าง

1. จุดประสงค์สาขาวิชา	1-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้	1-ข
3. หน่วยการสอน	1-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล	1-ง
5. ใบสาระการเรียนรู้	1-1
6. คำศัพท์พื้นฐานของการส่องสว่าง	1-2
7. หลักการออกแบบแสงสว่างที่ดี	1-6
8. หลอดไฟ และประเภทของหลอดไฟ	1-6
9. โคมไฟ	1-21
10. บัลลัสต์	1-26
11. การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง	1-28
12. แบบประเมินผลการเรียน	1-38

รายวิชาที่ 2 : เครื่องปรับอากาศ

1. จุดประสงค์สาขาวิชา	2-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้	2-ข
3. หน่วยการสอน	2-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล	2-ง
5. ใบสาระการเรียนรู้	2-1
6. แผนภูมิไซโครเมตริก	2-2
7. ตัวแปรบนแผนภูมิไซโครเมตริก	2-15
8. คำอธิบายแผนภูมิไซโครเมตริก	2-16
9. แผนภูมิไซโครเมตริกกับพลังงานในระบบปรับอากาศ	2-18
10. การประยุกต์ทางปฏิบัติของแผนภูมิไซโครเมตริก	2-19
11. แผนภูมิโมเลียร์	2-25
12. แผนภูมิโมเลียร์กับพลังงานในระบบปรับอากาศ	2-30
13. แบบประเมินผลการเรียน	2-31



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายวิชาที่ 3 : การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	
1. จุดประสงค์สาขาวิชา	3-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้	3-ข
3. หน่วยการสอน	3-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล	3-ง
5. ใบสาระการเรียนรู้	3-1
6. การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์	3-2
7. การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	3-13
8. การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบโดยตรงด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์	3-18
9. วงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ (Reversing after stop)	3-28
10. วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging)	3-38
11. วงจรกลับทางหมุน ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุม ด้วย ซีล็กเกอร์	3-47
12. การต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเรียงตามลำดับด้วยมือ	3-54
13. การต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ด้วยมือ	3-72
14. การควบคุมมอเตอร์ชนิดสองความเร็ว	3-78
15. ชุดควบคุมมอเตอร์ชนิดปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drive: VSDs)	3-82
16. การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ตามความต้องการของภาระ	3-82
17. วิธีการอนุรักษ์พลังงานเกี่ยวกับสายพานมอเตอร์	3-83
18. การบำรุงรักษา Bearing	3-84
19. แบบประเมินผลการเรียน	3-86
รายวิชาที่ 4 : หม้อแปลงไฟฟ้า	
1. จุดประสงค์สาขาวิชา	4-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้	4-ข
3. หน่วยการสอน	4-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล	4-ง
5. ใบสาระการเรียนรู้	4-1
6. การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	4-2
7. โวลต์เตจเรกูเลชั่น	4-14
8. การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า	4-23
9. แบบประเมินผลการเรียน	4-45



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



โครงการพัฒนาลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

รายวิชาที่ 1

การส่องสว่าง

รหัส 2104-2113 หน่วยที่ 2 หลอดไฟ

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พ.ศ. 2556

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านภาษา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สังคมศึกษา สุขศึกษาและพลศึกษาในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพช่างไฟฟ้ากำลังให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการและกระบวนการงานพื้นฐานด้านอุตสาหกรรม
4. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในงานผลิตและงานบริการทางไฟฟ้าตามหลักการและกระบวนการในลักษณะครบวงจรเชิงธุรกิจ โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานช่างไฟฟ้ากำลังในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะพื้นฐานในการศึกษาต่อระดับสูงขึ้น
6. เพื่อให้สามารถเลือก ใช้ ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในงานอาชีพช่างไฟฟ้ากำลัง
7. เพื่อให้มีเจตคติและกิริยาที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์ ประหยัด อดทน มีวินัย มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด สามารถพัฒนาตนเองและทำงานร่วมกับผู้อื่น

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 2104-2113	ชื่อรายวิชา การส่องสว่าง	2-0-2
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	สาขาวิชา ช่างไฟฟ้ากำลัง	
ทฤษฎีรวม 2 คาบ	ปฏิบัติรวม 0 คาบ	2 หน่วยกิต

จุดประสงค์รายวิชา

1. รู้และเข้าใจ แหล่งกำเนิดของแสง และคุณสมบัติของแสง
2. รู้ และเข้าใจการทำงานของหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ
3. มีทักษะเกี่ยวกับการเลือกใช้งานหลอดและดวงโคม
4. มีความตระหนัก และเห็นคุณค่าเกี่ยวกับการส่องสว่าง

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้แหล่งกำเนิดแสงและคุณสมบัติของแสง
2. คำนวณหาความเข้มของการส่องสว่างตามสถานที่ใช้งาน
3. เลือกใช้หลอดไฟฟ้าโคมไฟฟ้าภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐาน

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดแสงและการมองเห็น หน่วยวัด คุณสมบัติของแสง โครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดไฟ การทำงานและการต่อวงจรใช้งาน ลักษณะการให้แสงแบบต่างๆ ชนิดของโคมไฟ การเลือกใช้โคมไฟฟ้าภายในและภายนอกอาคาร

หน่วยการสอน

รหัส 2104-2113 วิชาการส่องสว่าง จำนวน 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
1	ความรู้เกี่ยวกับแสง	4
2	หลอดไฟฟ้า	2
3	หลอดไฟฟ้า	2
4	หลอดโซเดียมความดันต่ำ	4
5	หลอดแสงจันทร์	4
6	หลอดเมทัลฮาไลด์	4
7	หลอดโซเดียมความดันสูง	4
8	หลอดนีออน	4
9	โคมไฟฟ้า	4
10	การออกแบบแสงสว่าง	4
-	สอบปลายภาค	-
	รวม	36

เกณฑ์การประเมินผล
วิชา การส่องสว่าง รหัส 2104-2113

รายการ	คะแนน	หมายเหตุ
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและ คุณลักษณะอันพึงประสงค์	20	
2. ทดสอบ		
2.1 สอบปลายภาค	30	
3. ภาระงาน		
3.1 แบบฝึกหัด	30	
3.2 รายงาน	20	
รวม	100	

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา การส่องสว่าง	เวลาเรียน 4 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย หลอดไฟ	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน หลอดไฟ		
สาระสำคัญ หลอดไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานในรูปแสง ทำให้เราสามารถมองเห็นแสงได้ เอดิสัน เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ประดิษฐ์หลอดไฟฟ้าสำเร็จเป็นครั้งแรก ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ มากมาย และคำนึงถึงสภาพเศรษฐกิจในยุคปัจจุบันด้วย สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเมื่อเราต้องการใช้หลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย เส้นแรงของแสง (ลูเมน) ของหลอด ประสิทธิภาพของหลอด อายุการใช้งานของหลอด อุณหภูมิสีของหลอด มุมองศาในการติดตั้งหลอด และดัชนีความถูกต้องของสี เรื่องที่จะศึกษา 1. บทนำ 2. ทฤษฎีของแสง 3. แหล่งกำเนิดแสงสว่าง 4. คุณสมบัติของแสงเมื่อวิ่งผ่านตัวกลาง 5. การมองเห็นแสง 6. หน่วยวัดแสงสว่าง 7. ปริมาณการส่องสว่าง 8. ความจ้าของแสง 9. สีของแสง 10. องค์ประกอบที่นำไปพิจารณาออกแบบระบบแสงสว่าง จุดประสงค์การเรียนรู้ 1. อธิบายความหมายของประสิทธิภาพของหลอดไฟได้ 2. บอกประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดได้ 3. อธิบายความหมายของอุณหภูมิสีได้ 4. อธิบายความหมายของดัชนีความถูกต้องของสีได้ 5. บอกโครงสร้างของหลอดไส้ได้ 6. บอกการทำงานของหลอดไส้ได้ 7. บอกข้อดี-ข้อเสียของหลอดไส้ได้ 8. บอกการทำงานของหลอดทั้งสแตนด์บายฮาโลเจนได้ 9. บอกประโยชน์ของหลอดทั้งสแตนด์บายฮาโลเจน และหลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำได้ 10. เพื่อให้มีทัศนคติในการทำงานที่ดี มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา ใช้เวลาว่างให้เป็นประโยชน์		

หน่วยที่ 2

หลอดไฟ

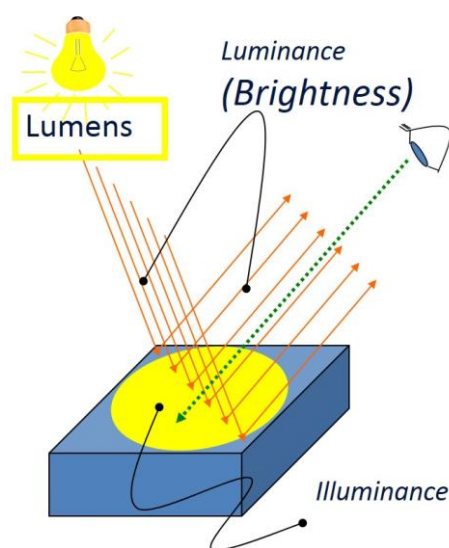
หลอดไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานในรูปแสง ทำให้เราสามารถมองเห็นแสงได้ เอดิสัน เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ประดิษฐ์หลอดไฟฟ้าสำเร็จเป็นครั้งแรก ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ มากมาย และคำนึงถึงสภาพเศรษฐกิจในยุคปัจจุบันด้วย สิ่งที่ต้องคำนึงถึง เมื่อเราต้องการใช้หลอดไฟชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย เส้นแรงของแสง (ลูเมน) ของหลอด ประสิทธิภาพของหลอด อายุการใช้งานของหลอด อุณหภูมิสีของหลอด มุมองศาในการติดตั้งหลอด และดัชนีความถูกต้องของสี

2.1 คำศัพท์พื้นฐานของการส่องสว่าง

การทำความเข้าใจถึงคำศัพท์พื้นฐานในระบบแสงสว่าง จะช่วยให้การพัฒนารูปแบบเลือกใช้ระบบส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการทำงาน ซึ่งคำศัพท์พื้นฐานที่สำคัญประกอบด้วย

2.1.1 ความส่องสว่าง (Illuminance) คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นผิว 1 ตารางเมตร มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์ (Lux) ในการออกแบบ และเลือกใช้อุปกรณ์ระบบแสงสว่าง จะต้องพิจารณาให้ค่าความส่องสว่างมีความเหมาะสม กับการใช้งานของพื้นที่ โดยพื้นที่ ที่มีการทำงานในลักษณะที่ละเอียดต้องการความชัดเจน จะต้องการความส่องสว่างมากกว่าพื้นที่ใช้งานทั่วไป

2.1.2 ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux) คือ ปริมาณแสงสว่างทั้งหมดที่ได้จากหลอดไฟมีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen) ดังนั้นหลอดไฟที่มีค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (ลูเมน) สูง จะเป็นหลอดที่ให้แสงสว่างมากด้วย รูปที่ 2.1 แสดงถึงข้อแตกต่างระหว่างความส่องสว่าง และฟลักซ์ของการส่องสว่าง



รูปที่ 2-1 ความส่องสว่าง (Illuminance) และฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminance flux)

2.1.3 แสงบาดตา (Glare) คือ แสงจ้าที่เข้ามารบกวนสายตาทำให้เกิดความไม่สบายตา หรือความยากลำบากในการมองเห็น ซึ่งเป็นประโยชน์สำคัญในการเลือกประเภท และตำแหน่งติดตั้งโคมไฟที่จะไม่ให้สายตาได้รับแสงจ้า หรือแสงสะท้อนโดยตรงจากหลอดไฟ

2.1.4 ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficiency) คือ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหลอดไฟซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างฟลักซ์การส่องสว่างต่อกำลังไฟฟ้าของหลอด มีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ หลอดไฟที่มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงจะเป็นหลอดไฟที่ให้แสงสว่างมากกว่าหลอดไฟที่มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำ เมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่เท่ากัน แสดงสมการความสัมพันธ์ของการหาค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างดังนี้

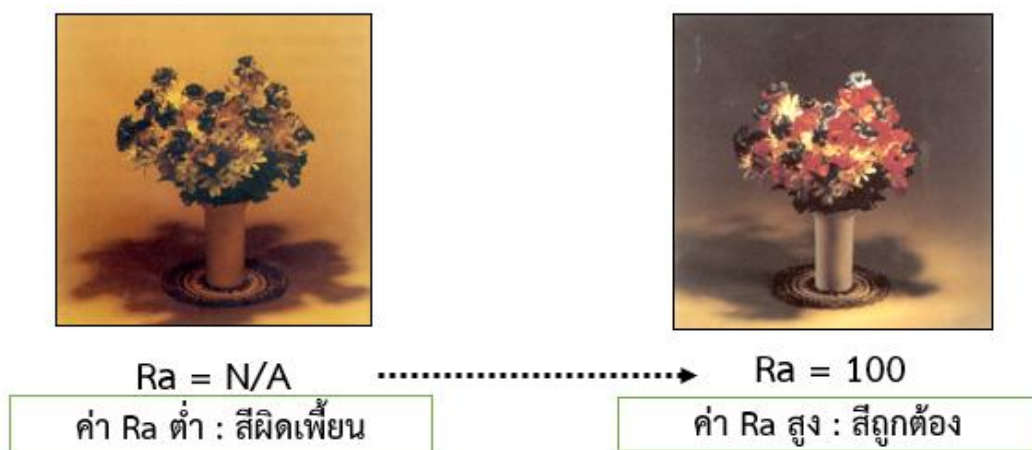
$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพการส่องสว่าง} &= \text{ความสว่างจากหลอดไฟ/จำนวนวัตต์} \\ &= \text{lm/W} \\ &= \text{ลูเมน/วัตต์}\end{aligned}$$

2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของโคมไฟ (Coefficient of Utilization) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบที่พื้นที่ใช้งานเทียบกับปริมาณแสงทั้งหมดที่ได้จากหลอดไฟ โดยเป็นค่าประสิทธิภาพของโคมที่ทดสอบและระบุโดยผู้ผลิตโคมซึ่งรวมผลของความสูง และการสะท้อนของผนังและเพดาน

2.1.6 กราฟการกระจายแสงของโคม (Light Distribution Curve) กราฟการกระจายแสงของโคม เป็นกราฟแสดงลักษณะทิศทางการกระจายแสงของโคม ซึ่งใช้ประกอบในการกระจายแสงของโคม ซึ่งใช้ประกอบในการเลือกประเภทโคมไฟกำหนดตำแหน่ง และจำนวนโคมไฟเพื่อความสว่างแก่พื้นที่ใช้งาน

2.1.7 กำลังไฟฟ้า (Power) กำลังไฟฟ้าที่ระบบแสงสว่างใช้ในการทำให้เกิดแสงสว่างมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) ซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ และกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ หลอดไฟแต่ละชนิดจะให้ใช้กำลังไฟฟ้าในการให้แสงสว่างที่แตกต่างกัน

2.1.8 ดัชนีการเปลี่ยนสี (Color Rendering Index (CRI)) เป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 100 เพื่อใช้เปรียบเทียบ การเปลี่ยนสีของวัตถุภายใต้แสงของหลอดไฟ ว่ามีค่าใกล้เคียงกับสีของวัตถุนั้นภายใต้แสงมาตรฐาน เช่น แสงธรรมชาติ มากน้อยเพียงใด หลอดไฟที่มีค่าดัชนีการเปลี่ยนสีสูง เช่น หลอดไส้ซึ่งมีค่าดัชนีการเปลี่ยนสีเท่ากับ 100 จะให้สีของวัตถุที่เป็นจริงใกล้เคียงกับสีที่มองเห็น ภายใต้แสงธรรมชาติ โดยหลอดที่มีดัชนีการเปลี่ยนสีต่ำก็จะมีค่าความเพี้ยนของสีมาก โดยทั่วไปแล้วถ้าหลอดมีการพัฒนาสารเคลือบหรือการเติมก๊าซต่าง ๆ ภายในเพื่อให้มีดัชนีบอกความถูกต้องของสีสูงขึ้นแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดรุ่นนั้นๆ ลดลง นั่นคือ จะมีฟลักซ์การส่องสว่างลดลง แสดงตัวอย่างของการบอกค่า ดัชนีความถูกต้องของสี ดังรูปที่ 2-2 ผลการเปรียบเทียบค่า CRI และคุณสมบัติความถูกต้องของสีของหลอดไฟแต่ละชนิดได้ดังตารางที่ 2-1



รูปที่ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของสีต่อการแสดงสีที่แท้จริงของวัตถุ

ตารางที่ 2-1 ค่าดัชนีความเปล่งสี และคุณสมบัติความถูกต้องของสีสำหรับหลอดไฟแต่ละประเภท

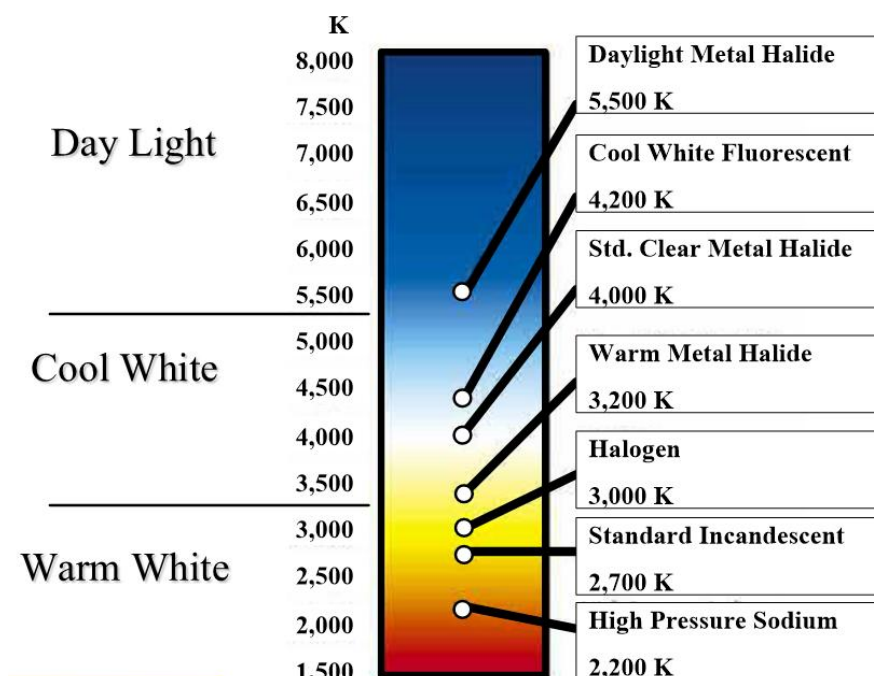
ชนิด	CRI	คุณสมบัติความถูกต้องของสี
อินแคนเดสเซนต์	100	ดีที่สุด
ฟลูออเรสเซนต์ ฟลักซ์การส่องสว่างสูง (Day Light)	72	ดี
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ บัลลัสต์ในตัว (Warm White)	82	ดีมาก
แอลอีดีสมรรถนะสูง (E27)	65	ดี
ปรอทความดันสูง (เคิลือบ)	45	พอใช้
โซเดียมความดันสูง (มาตรฐาน) ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง	23	ไม่ดี
เมทัลฮาไลด์ (เคิลือบ)	80-90	ดีมาก
โซเดียมความดันต่ำ (ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง)	0	แย่มาก

2.1.9 อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) อุณหภูมิสีเป็นค่าบ่งบอกถึงสีของแสงที่ได้จากหลอดไฟมีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin: K) หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการบอกสีทางด้านการส่องสว่างโดยแสดงค่าในรูปอุณหภูมิ เช่น หลอดไฟที่มีอุณหภูมิปานกลาง อาทิ หลอดคู่ลวท์ที่มีอุณหภูมิสีระหว่าง 3,000 – 5,000 เคลวิน จะให้โทนแสงออกสีขาว เหมาะสำหรับการให้แสงสว่างในห้างสรรพสินค้า หรือโรงพยาบาล ซึ่งต้องการสีของแสงที่ทำให้วัตถุทุกโทนสีดูเด่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีอุณหภูมิ 6,500 เคลวิน จะมีสีของแสงเทียบเท่ากับแสงที่เปล่งออกมาจากวัตถุสีดำที่ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 6,500 เคลวิน เป็นต้น

อุณหภูมิสี (Color Temperature) ถือเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบสีของแหล่งกำเนิดแสง (หลอดไฟ) ได้แก่ ให้พลังงานความร้อนกับวัตถุดำ (Black Body) ไปเรื่อย จนทำให้สีของวัตถุดำนั้นมีการเปลี่ยนสีโดยทั่วไปสีของวัตถุดำจะเปลี่ยนไปเรื่อยตามค่าอุณหภูมิของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงตัวอย่างของอุณหภูมิสี และตัวอย่างหลอดไฟฟ้าโทนีสีที่ใช้กันทั่วไปดังตารางที่ 2-2 และ แสดงอุณหภูมิสี ต่อลักษณะของการเปล่งแสงของหลอดไฟแต่ละประเภท ดังรูปที่ 2-3

ตารางที่ 2-2 อุณหภูมิสี โทนสี และตัวอย่างแหล่งกำเนิด

อุณหภูมิสี (K)	โทนสี (Color Group)	ตัวอย่างแหล่งกำเนิด
ประมาณ 1,900	สีขาวส้ม (Incandescent)	เทียนไข
ประมาณ 2,700	สีขาวส้ม (Incandescent)	หลอดอินแคนเดสเซนต์
ประมาณ 3,000	สีวอร์มไวต์(ขาวเหลือง) (Warm White: WW)	หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน
ประมาณ 3,500	สีวอร์มไวต์(ขาวเหลือง) (Warm White: WW)	หลอดไฮโปรทความดันสูง
ประมาณ 3,500	สีวอร์มไวต์(ขาวเหลือง) (Warm White: WW)	หลอดฟลูออเรสเซนต์สีวอร์มไวต์
ประมาณ 4,000	สีคูลไวต์(ขาวเย็น) (Cool White: CW)	หลอดเมทัลฮาไลด์
4,500	สีคูลไวต์(ขาวเย็น) (Cool White: CW)	หลอดฟลูออเรสเซนต์สีคูลไวต์
5,000-6,000	สีเดย์ไลท์(ขาว) (Daylight:D)	แสงอาทิตย์กลางวัน
6,500	สีขาวฟ้าเย็น(Cool Daylight:CD)	หลอดฟลูออเรสเซนต์สีเดย์ไลท์



รูปที่ 2-3 อุณหภูมิสีต่อการเปล่งแสงของหลอดไฟแต่ละประเภท

จากรูปแสดงให้เห็นผล เช่นเดียวกับการทดลองโดยการให้ความร้อนแก่วัตถุสีดำ (Black body) หรือจะเป็นวัตถุใดๆ ก็ได้ซึ่งให้ผลไม่ต่างกัน เมื่อให้ความร้อนถึงประมาณ 2,000 องศาเซลวิน (องศาเซลวิน เป็นหน่วยวัดความร้อนเอกเช่นเดียวกันกับ องศาเซลเซียส โดยที่ 0 องศาเซลวิน มีค่า = -273 องศาเซลเซียส) หรือประมาณ 1,727 องศาเซลเซียส วัตถุสีดำเริ่มเปล่งแสงออกมาโดยมีสีออกแดงคล้ำๆ แสงเทียน เมื่อเพิ่มความร้อนไปเป็น 5,500 องศาเซลวิน แสงที่ได้จะเป็นสีขาว และเมื่อเพิ่มระดับความร้อนจนถึง 8,000 องศาเซลวิน แสงจะออกเป็นโทนนํ้าเงิน

2.2 หลักการออกแบบแสงสว่างที่ดี

การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่เป็นอยู่ในปัจจุบันขึ้นอยู่กับ ความสอดคล้อง และความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และลักษณะการทำงาน โดยต้องพิจารณาคุณภาพและระดับความสว่างว่าเหมาะสมเพียงพอต่อการทำงานนั้นๆ หรือไม่ หลักการสำคัญที่จะให้ได้มาซึ่งระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น เริ่มจากการทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่าง คือ การศึกษาถึงประเภทหรือชนิดของงานที่จะกระทำในพื้นที่นั้นๆ ว่าเป็นงานชนิดใด มีการทำงานในเวลาใด และต้องการระดับความสว่างสูงต่ำเพียงใด โดยคำนึงถึงขนาดค่าการสะท้อนแสงและการเคลื่อนไหวของชิ้นงานรวมทั้งระยะห่างจากผู้ปฏิบัติ ในขณะเดียวกันก็พิจารณาหรือเลือกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับพื้นที่นั้นๆ ด้วย เช่น ความสูงของเพดานช่องแสง นอกจากนี้สีที่ใช้ทาส่วนต่างๆ ควรเป็นสีโทนสว่าง เพื่อให้แสงสว่างขึ้น ซึ่งค่าการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง พื้น และแม้แต่เครื่องจักร อุปกรณ์ ควรมีค่าที่เหมาะสม เพื่อมิให้เกิดแสงแยงตา หรืออึดอัดเกินไป วิธีการให้แสงสว่างที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1) การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ (General Lighting)

เป็นวิธีการให้แสงสว่างที่ใช้ทั่วไปโดยการให้แสงสว่างจากโคมไฟที่ติดตั้งกระจายอย่างสม่ำเสมอบนเพดาน ซึ่งทำให้มีความสว่างเกือบเท่ากันตลอดพื้นที่ จึงทำให้มีข้อดีในแง่ที่สามารถออกแบบได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องทราบตำแหน่งทำงานที่แน่นอน และสามารถย้ายตำแหน่งที่ทำงานได้อย่างอิสระ แต่ข้อเสียสำคัญ คือ เป็นวิธีการให้แสงสว่างที่สิ้นเปลืองพลังงานสูง

2) การให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่ (Localized General Lighting)

เป็นวิธีการให้แสงสว่างโดยการออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานในแต่ละพื้นที่ จึงทำให้ประหยัดพลังงานกว่าวิธีการแรก แต่ก็มีข้อเสียคือ ทำให้การย้ายตำแหน่งพื้นที่ทำงานไม่อิสระ

3) การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง (Local Lighting)

เป็นวิธีการให้แสงสว่างเสริม ใช้สำหรับงานที่ต้องการปริมาณแสงในระดับสูง เช่น บริเวณทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง และใช้สำหรับผู้สูงอายุหรือสายตาผิดปกติ โดยการติดตั้งโคมไฟในบริเวณที่อยู่ใกล้ผู้ทำงานหรือชิ้นงาน เพื่อให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นวิธีการให้แสงสว่างที่ประหยัดพลังงานที่สุด แต่จะต้องควบคุมทิศทางและความสว่างให้เหมาะสม

2.3 หลอดไฟ และประเภทของหลอดไฟ

หลอดไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ หลอดมีไส้ (Incandescent Lamp) และหลอดปล่อยประจุ (Gas Discharge Lamp) ตัวอย่างของหลอดไฟแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 2-3

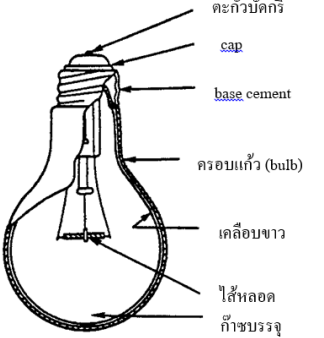
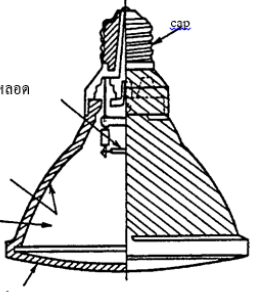
ตารางที่ 2-3 ชนิดของหลอดไฟแยกตามการกำเนิดแสง

หลอดที่แสงเกิดจากความร้อน (Incandescent)	หลอดที่แสงเกิดจากการกระตุ้นอะตอมของก๊าซ (Gas Discharge)
■ หลอดไส้ ■ หลอดฮาโลเจน ■ หลอด PAR ■ หลอดป้องกันจําปา	■ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ■ หลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดโซเดียมความดันต่ำ ■ หลอดปรอทความดันสูง ■ หลอดเมทัลฮาไลด์

2.3.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp)

เป็นหลอด ที่อาศัยการกำเนิดแสงจากความร้อน โดยการให้กระแสไหลผ่าน ไส้หลอดที่ทำด้วย ทังสเตน จนร้อนแล้วเปล่งแสงออกมา แต่ให้ประสิทธิภาพ การส่องสว่างต่ำราว 5 - 12 lumen/watt ขึ้นอยู่กับ วัตต์ของหลอด อายุการใช้งานสั้นคือประมาณ 1,000 ชั่วโมง (เป็นอายุเฉลี่ยที่ได้จากห้องปฏิบัติการ แต่การใช้ งานจริงอาจมีอายุสั้น หรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบและสภาพแวดล้อมในการใช้งาน) มีอุณหภูมิสี ประมาณ 2,500 – 2,700 องศาเคลวิน แต่ให้ดัชนีความถูกต้อง ของสีถึง 97 % แต่เนื่องจากเป็นหลอดที่ไม่ ประหยัดไฟ จึงนิยมใช้ในงานตกแต่งแสงสี หรือนเน้นความสว่างเฉพาะจุด ในบ้านเรือน , ห้องแสดงสินค้า , ห้องอาหาร เป็นต้น ข้อดีของหลอดชนิดนี้คือราคาถูก จุดติดง่าย และยังใช้กับอุปกรณ์ หรือไฟได้ด้วย

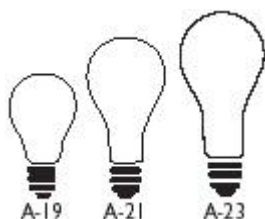
หลักการทำงานของหลอดอินแคนเดสเซนต์ เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้า ให้ไหลผ่านไส้หลอด ทังสเตน ที่มีวามเป็นรูปคอยล์จนมีอุณหภูมิสูง หลักการเปล่งแสงคือ Thermal Radiation (Temperature Radiation) ตัวอย่างองค์ประกอบของหลอดอินแคนเดสเซนต์แต่ละประเภท แสดงดังรูปที่ 2-4

		
โครงสร้างของหลอดไส้	โครงสร้างของหลอดไฟแบบสะท้อน (Reflect lamp)	โครงสร้างของหลอดไฟแบบ shield beam (Beam lamp)

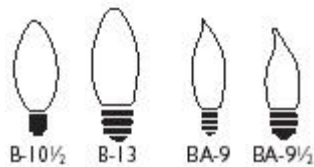
รูปที่ 2-4 องค์ประกอบของหลอดอินแคนเดสเซนต์

1) องค์ประกอบของหลอดไฟฟ้าชนิดหลอดไส้ ประกอบด้วย

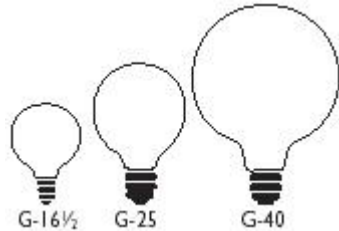
1.1) กระเปาะแก้ว (Bulb) ทำด้วยแก้วอ่อนธรรมดาสามารถทนต่ออุณหภูมิและความดัน ขณะหลอดทำงานได้ รูปร่างต่างกันไป ถ้าหลอดมีขนาดวัตต์สูงๆ จึงจะใช้แก้วแข็ง แทน ตัวกระเปาะอาจเป็นแก้วใสหรือถูกเคลือบผิวภายในด้วยสารชนิดต่างๆ รูปร่าง ของหลอดไส้ มีลักษณะแตกต่างกันดังนี้



- รูปร่าง A shape สำหรับใช้งานทั่วไป (GLS lamp) ตามบ้านเรือน มีทั้งแบบแก้วใส , แก้วฝ้า และหลอด ฉาบปรอท



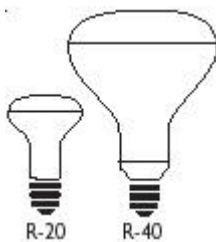
- **รูปทรงจำปา (B shape)** มีทั้งแก้วใสและแก้วฝ้า ใช้กับ โคมไฟประดับและโคมไฟกิ่ง



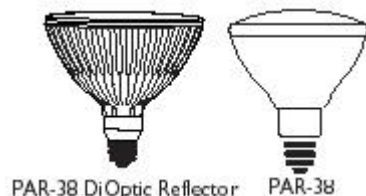
- **รูปทรงกลม (G shape)** มีทั้งแบบแก้วใส , เคลือบนมขาว (silica white) , แบบฉาบปรอท ครึ่งใบทั้งบนและล่าง รวมทั้งฉาบปรอทครึ่งซีก ใช้เป็นไฟตกแต่ง ภายในอาคาร สำหรับแบบ ฉาบปรอทครึ่งใบ ใช้เพื่อให้แสงแบบ indirect ได้



- **รูปทรงปิงปอง (G shape)** มีขนาดเท่าลูกปิงปอง ทั้งแบบแก้วใส , แก้วฝ้า , ฉาบปรอท และแก้วสีต่างๆ ใช้ในงาน ตกแต่งอาคาร และไฟประดับ เพื่อความสวยงาม



- **รูปทรงสปอร์ไลท์ (Indoor & Outdoor Reflector Lamp)** รูปแบบ R Type ชนิดที่ใช้ในอาคารจะเป็น ไฟส่องป้าย ไฟส่องภาพ ไฟเวที ตู้แสดงสินค้า ฯลฯ ส่วนชนิดที่ใช้กลางแจ้งจะเป็นไฟส่องชั่วคราวในงานก่อสร้าง เรียกทั่วไปในท้องตลาดว่า สปอร์ไลท์กันฝนใช้กับโคมไฟขาดัง



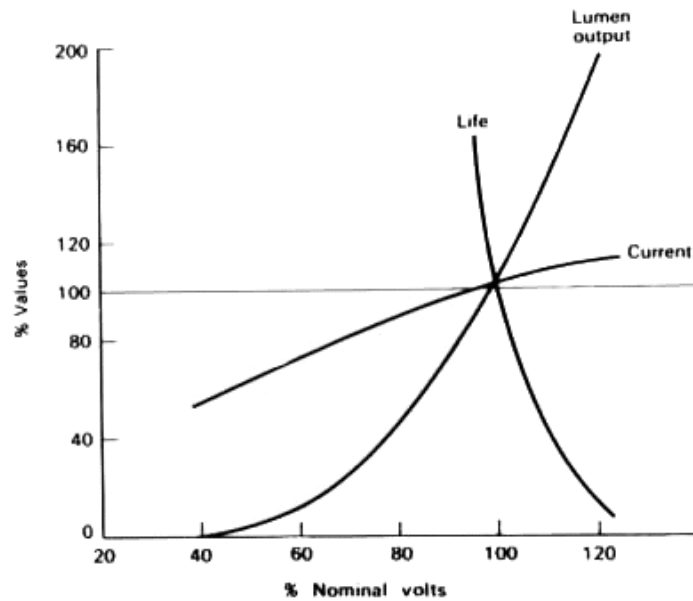
- **รูปทรงสปอร์ไลท์ชนิดกระจกหนา (PAR shape)**
PAR = Parabolic Aluminized Reflector มีหลายขนาดให้เลือกใช้ เช่น PAR36 , PAR38 เป็นต้น โดยตัวเลขจะบอกขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของหน้ากระจกหน้าเป็นหน่วย นิ้ว ถ้าผิวกระจกหน้า เป็นเม็ดสาคูจะเป็นแบบลำแสงกระจาย แต่ถ้าผิวหน้าเรียบ จะเป็นแบบลำแสงแคบ การใช้งานเช่นเดียวกับ แบบที่5

- 1.2) ขั้วหลอด (Base)** มีทั้งแบบเกลียวและแบบเขี้ยว อาจทำด้วยทองเหลืองหรืออลูมิเนียม โดยโลหะที่ใช้ยึดใส่หลอดจะถูกเชื่อม เข้ากับส่วนที่เป็นเกลียวและกลางขั้วหลอดด้านล่างสุด (สำหรับขั้วแบบเกลียว) การแบ่งชนิดขั้วหลอดประกอบด้วย
- ขั้วหลอดแบบเกลียว (Edison lamp base) เช่น E10 , E11, E12 , E14 , E17 , E27 , E40 โดยตัวเลขหมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางของขั้วหลอด หน่วยเป็น มิลลิเมตร
 - ขั้วหลอดแบบเขี้ยว (Bayonet) ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ B22 และ Ba9S แสดงลักษณะของขั้วหลอดชนิดต่างๆ

- 1.3) **ก๊าซ (Gas)** เป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน, นีออน, อาร์กอน, คริปทอน ปกติใช้ส่วนผสมของไนโตรเจนและอาร์กอน หรือคริปทอนบ้างเล็กน้อย เพื่อให้ไส้หลอดกลายเป็นไอช้าลง
- 1.4) **เส้นลวดยึดไส้หลอด (Lead in wire)** ทำด้วยทองแดงตั้งแต่ขั้วหลอดถึงส่วนที่ซ่อนอยู่ในแก้ว จากนั้นใช้ทองแดงเคลือบ ด้วยนิเกิลหรือนิกเกิลล้วนๆ ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าไปยังไส้หลอด
- 1.5) **ลวดยึดไส้หลอด (Support wire)** ใช้พยูงไส้หลอดไม่ให้แกว่งไปมา ทำด้วยลวด molybdenum
- 1.6) **แก้วเสียบลวดยึดไส้หลอด (Button rod)** เป็นแก้วทนความร้อน ใช้ฝัง support wire
- 1.7) **แก้วสำหรับสอดลวดยึดก้านหลอด (Stem press)** เป็นแก้วใช้หุ้มและป้องกันไม่ให้อากาศเข้าสู่ lead in wire โดยมีสัมผัสการขยายตัวเท่ากับ lead in wire
- 1.8) **หลอดดูดอากาศออก (Exhaust tube)** เป็นท่อแก้วเล็กๆ ใช้สำหรับเป็นทางสูบเอาอากาศภายในออกระหว่างขบวนการผลิต และบรรจุก๊าซเฉื่อยเข้าแทนที่ เสร็จแล้วจึงปิดหลอดไว้
- 1.9) **ฟิวส์ (Fuse)** อาจมีหรือไม่มีก็ได้ ทำหน้าที่ป้องกันหลอดและวงจรภายในโดยจะขาดก่อนหลอดเกิดการอาร์กขึ้น
- 1.10) **ไส้หลอด (Filaments)** โดยทั่วไปจะผลิตเป็น 3 แบบคือแบบตรง (Straight) แบบขด (Coil) และแบบขดในตัวเอง (Coil Coil) ในยุคแรกทำจากคาร์บอนแต่พบว่าการระเหิดตัวเป็นไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันจึงเปลี่ยนมาใช้ทังสเตนเนื่องจากมีข้อดี คือ
 - มีจุดหลอมเหลวสูง
 - การกลายเป็นไอต่ำ
 - แข็งแรงและสามารถรีดเป็นเส้นได้
 - เปล่งแสงได้ดี

2) กราฟแสดงคุณลักษณะของหลอดอินแคนเดสเซนต์

กราฟแสดงคุณลักษณะของหลอดอินแคนเดสเซนต์ เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน, ปริมาณแสง, อายุและกระแสที่ไหลผ่านหลอด จากรูปจะเห็นว่าเมื่อจ่ายแรงดัน 100% ของค่าที่ระบุ (เช่น 220 โวลต์) ให้แก่หลอดจะได้รับปริมาณแสงรวมทั้งอายุตามที่กำหนด แต่เมื่อหลอดได้รับแรงดัน สูงกว่า 100% จะให้ปริมาณแสงเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่อายุการใช้งานก็ลดลงมากเช่นกัน การเลือกหลอดไส้ มาใช้งานจึงอาจพิจารณาผลกระทบต่างๆ จากกราฟแสดงคุณลักษณะดังกล่าว แสดงตัวอย่างกราฟแสดงคุณลักษณะของหลอดดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 กราฟแสดงคุณลักษณะของหลอดอินแคนเดสเซนต์

3) ชนิดของหลอดอินแคนเดสเซนต์

หลอดอินแคนเดสเซนต์ เมื่อแยกตามลักษณะและการใช้ประโยชน์ประกอบด้วย



3.1) หลอดอินแคนเดสเซนต์ แบบธรรมดา เป็นหลอดที่นิยมใช้กันมากที่สุดในหลอดอินแคนเดสเซนต์ เหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทั่วไปโดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการความรู้สึกแบบอบอุ่น การให้แสงเน้นบรรยากาศเช่น บ้าน โรงแรม และร้านอาหาร เป็นต้น คุณสมบัติโดยทั่วไปของหลอดไฟประเภทนี้ คือ ประสิทธิภาพต่ำเพราะสูญเสียพลังงานที่ใช้ไปในรูปความร้อน มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพประมาณ 10 – 25 ลูเมนต่อวัตต์ ใช้กำลังไฟไม่เกิน 300 วัตต์ ข้อดีของหลอดประเภทนี้ คือ มีราคาถูก ให้แสงสว่างทันทีเมื่อเปิดใช้งาน ไม่ต้องใช้บัลลาสต์ หรือแสงได้ ขนาดเล็ก เบา และให้แสงประกายสวยงาม แต่ข้อเสียคือ สูญเสียพลังงานไปกับความร้อนมาก อายุการใช้งานสั้นประมาณ 1,000 ชั่วโมง หลอดเสื่อมเร็ว โดยลักษณะของครอบแก้วจะดำ และเลือกอุณหภูมิสีไม่ได้

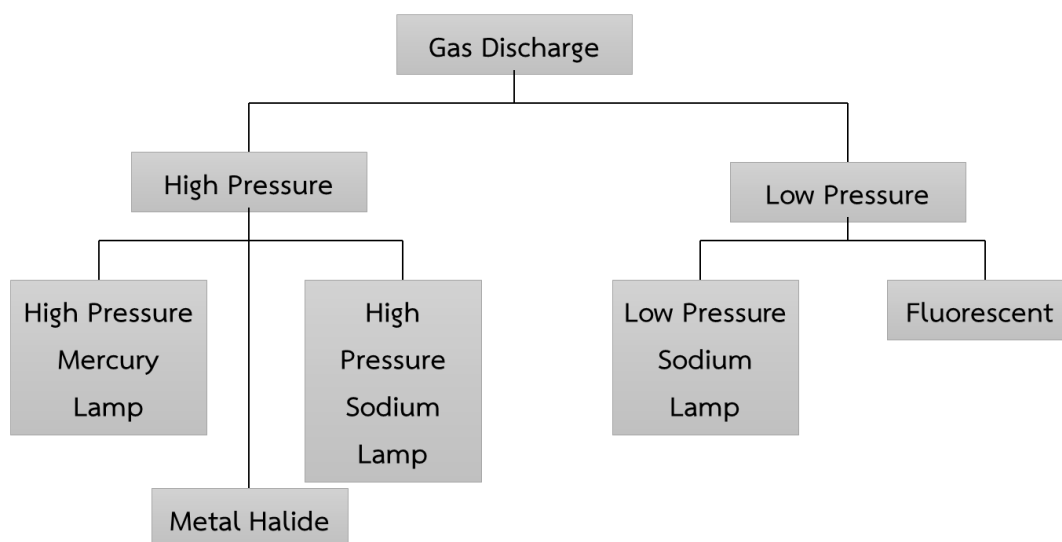


3.2) หลอดทังสเตนฮาโลเจน เป็นหลอด ที่อาศัยการกำเนิดแสงจากความร้อน โดยการให้กระแสไหลผ่านไส้หลอดที่ทำด้วยทังสเตนจนร้อน แล้วเปล่งแสงออกมา เช่นเดียวกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ แตกต่างตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน โบรมีน และฟลูออรีนลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ สารที่เติมเข้าไปนี้จะป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอด ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3,000-3,400 องศาเซลวิน ช่วยให้หลอดมีอายุยาวนานขึ้นกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ ราว 2-3 เท่า คือ 1,500-3,000 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ คือประมาณ 12 - 22 lm/w และสีของลำแสงขาวกว่าคือมีอุณหภูมิสีประมาณ 2,800 องศาเซลวิน ทำให้มีค่าดัชนี

ความถูกต้องของสีสูงถึง 100% ปกติหลอดจะมีลักษณะยาวตรง แต่ก็มีรูปทรง
 อย่างอื่นเพื่อให้เหมาะกับลักษณะงานที่ต่างกัน เช่นหลอดที่ใช้ใน เครื่องฉาย
 ภาพข้ามศีรษะ หรือเครื่องฉายสไลด์เป็นต้น การใช้งานต้องติดตั้งภายในดวง
 โคมสำหรับหลอดฮาโลเจนโดยเฉพาะ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับกระเปาะ
 แก้ว ทั้งจากความชื้นและการสัมผัสกระเปาะแก้วโดยตรง ดวงโคมที่พบเห็น
 ทั่วไปแสดงดังรูป ซึ่งไม่ว่าจะเป็นโคมรุ่นใด โครงสร้างภายใน แทบไม่ต่างกัน
 โดยเฉพาะใช้กับหลอดชนิดยาวตรง

2.3.2 หลอดที่แสงเกิดจากการกระตุ้นอะตอมของก๊าซ (Gas Discharge)

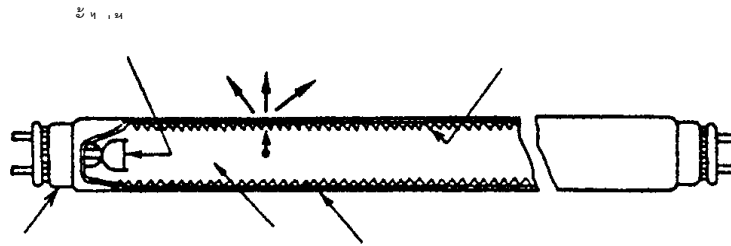
ทำงานโดยการให้อะตอมของก๊าซที่บรรจุในหลอดเกิดการแตกตัว โดยการกระตุ้นและปล่อยแสง
 ออกมา แสงที่ได้จะมีมากหรือน้อยหรือมีสีอย่างไร ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ และความดันที่บรรจุอยู่ในหลอด
 โดยทั่วไปสามารถแบ่งชนิดของหลอดไฟที่อาศัยหลักการแตกตัวของอะตอมก๊าซได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่อาศัย
 แรงดันต่ำและสูง โดย แสดงการแบ่งประเภทดังรูปที่ 2-6



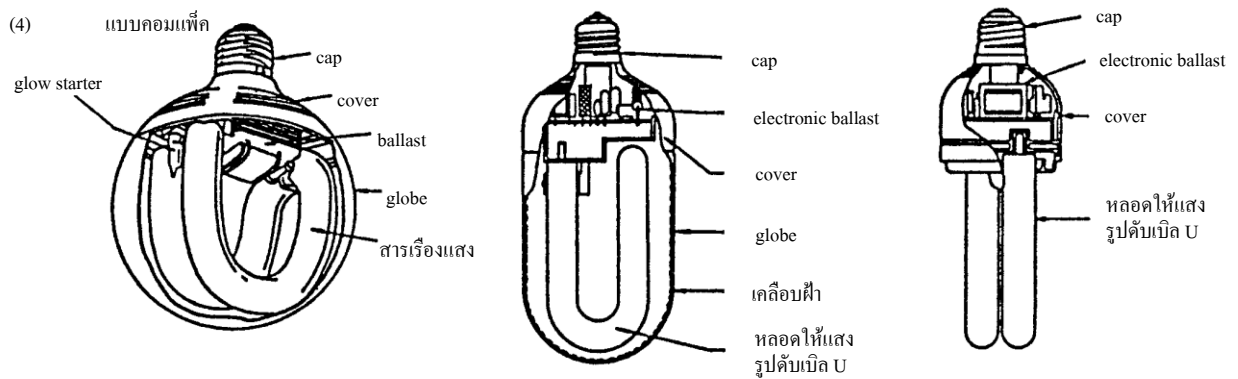
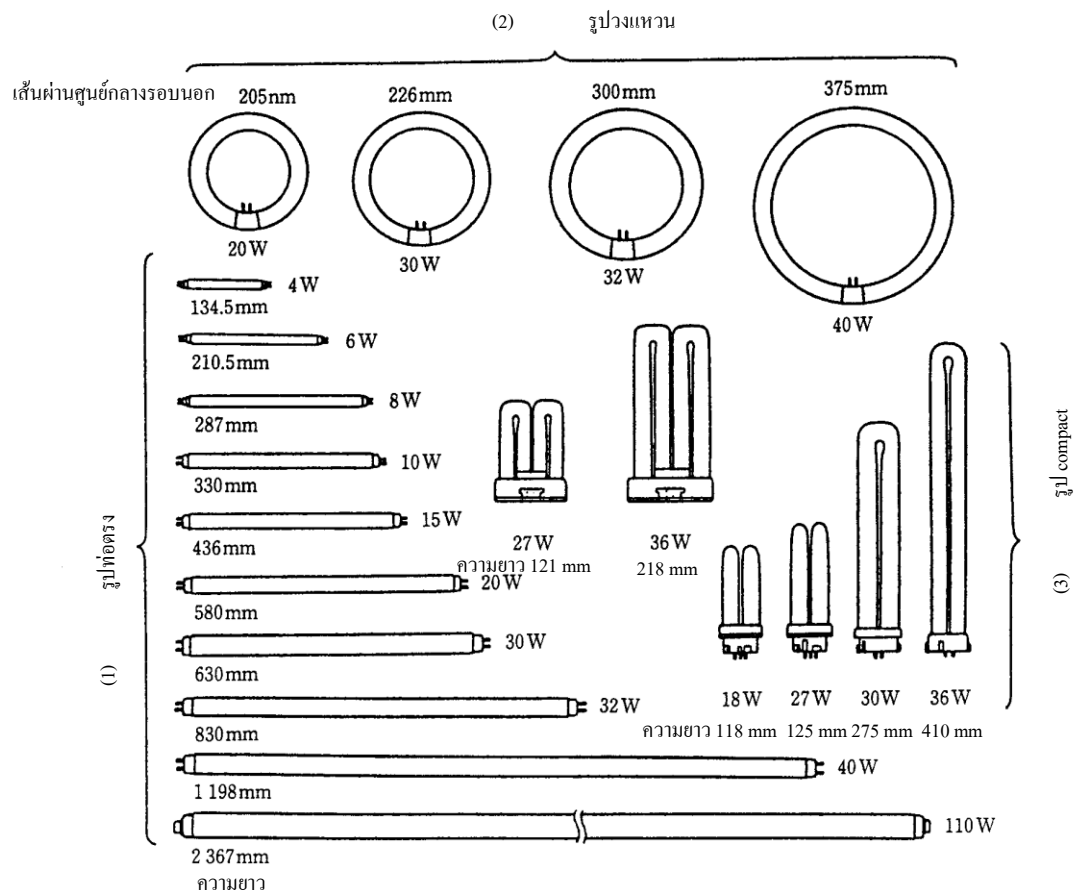
รูปที่ 2-6 การแบ่งประเภทของหลอดไฟที่อาศัยการแตกตัวของอะตอมก๊าซในการทำให้เกิดแสง

1) หลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด Discharge Lamp ที่กำเนิดแสงที่มองเห็นได้ด้วยการที่
 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เกิดจากการคายประจุของไอปรอทความดันต่ำ ไปกระตุ้นสารเรืองแสง โครงสร้าง
 ของหลอดแสดงไว้ในรูปที่ 2-7 โดยภายในผิวหลอดแก้วจะมีสารเรืองแสงเคลือบอยู่ และที่ไส้หลอดรูป
 คอยล์ที่ขั้วหลอดจะมีสาร Emitter เคลือบอยู่ ในหลอดจะมีปรอทจำนวนเล็กน้อยกับก๊าซอาร์กอนบรรจุ
 อยู่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการคายประจุขึ้น ขั้วหลอดจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนร้อน
 ออกมา อิเล็กตรอนจะไปชนกับอะตอมของปรอทเกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตขึ้น รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะไป
 กระตุ้น สารเรืองแสงและถูกแปลงเป็นแสงที่มองเห็นได้ (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า
 Photoluminescence)



รูปที่ 2-7 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์



(a) แบบทรงกลม (แบบคัมเบิ้ล U) (b) แบบทรงกระบอก (จุดหลอดด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์) (c) แบบคัมเบิ้ล U (จุดหลอดด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์)

รูปที่ 2-8 หลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทต่างๆ

ประเภทของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับรูปร่าง วิธีจุดหลอด สีของแสง เป็นต้น รูปร่างที่ใช้กัน ได้แก่ รูปท่อตรง รูปวงแหวน รูปคอมแพค รูปหลอดไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนารูปวงแหวน 2 ชั้นโดยนำหลอด 2 หลอดรวมเป็น 1 ชุดทำเป็นรูปวงแหวนอีกด้วย แสดงดัง รูปที่ 2-8

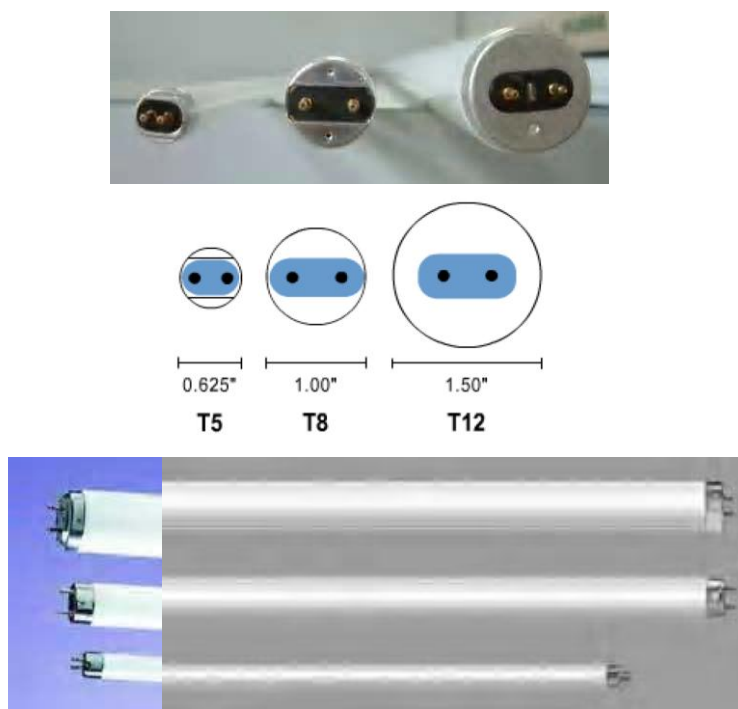
หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคบัลลาสต์จะนำหลอดไฟมารวมกับบัลลาสต์เป็นชิ้นเดียวให้สามารถเสียบในเต้าเสียบหลอดได้โดยตรง มีรูปร่างเป็นทรงกลม เป็นทรงกระบอก เป็นต้นนอกจากนี้ ยังมีแบบที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้น้ำหนักเบาอีกด้วย กรณีที่ใช้กับอุปกรณ์ส่องสว่างสำหรับหลอดอินแคนเดสเซนต์ จะมีข้อจำกัดเรื่องจำนวนวัตต์และขนาด จึงต้องใช้ความระมัดระวัง

คุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์

- (ก) ประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานยาวนาน
- (ข) มีสีของแสงให้เลือกใช้หลายสี
- (ค) หลอดมีรูปร่างเป็นท่อ มี Luminance ที่พื้นผิวต่ำ แสงจึงไม่คอยจ้า
- (ง) อุณหภูมิที่ผิวหลอดมีค่าต่ำ
- (จ) สามารถหรี่แสงได้อย่างต่อเนื่อง
- (ฉ) มีขนาด (ความยาว) ค่อนข้างใหญ่
- (ช) ไม่มีหลอดที่มีกำลังสูงมากๆ (สูงสุด 220W)

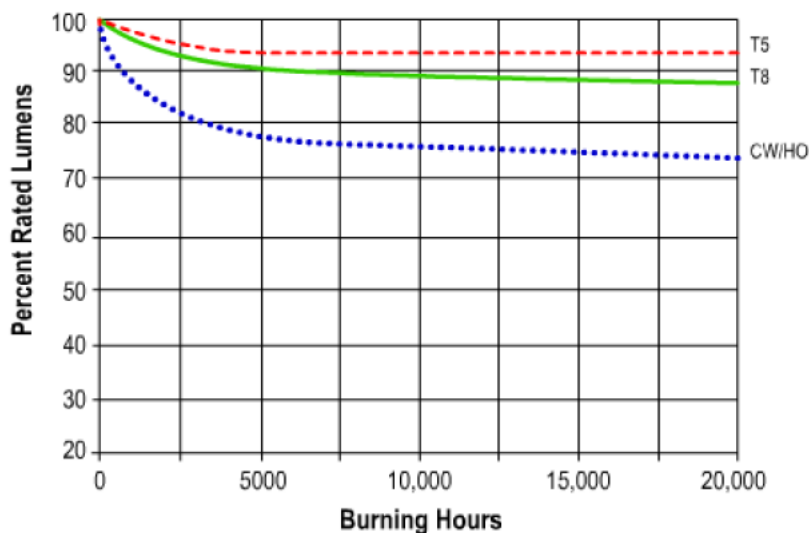
1.1) หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบท่อ T5

หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ได้พัฒนาและเพิ่มความนิยมในการใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 โดยเข้ามาแทนที่หลอด T8 และ T12 ที่ใช้กันอยู่ หลอด T5 คือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว สัญลักษณ์ตัว T หมายถึงรูปร่างของหลอดที่มีลักษณะเป็นท่อ (Tubular) โดยเราสามารถแบ่งแยกขนาดของหลอดตามเส้นผ่าศูนย์กลางได้ ดังรูปที่ 2-9



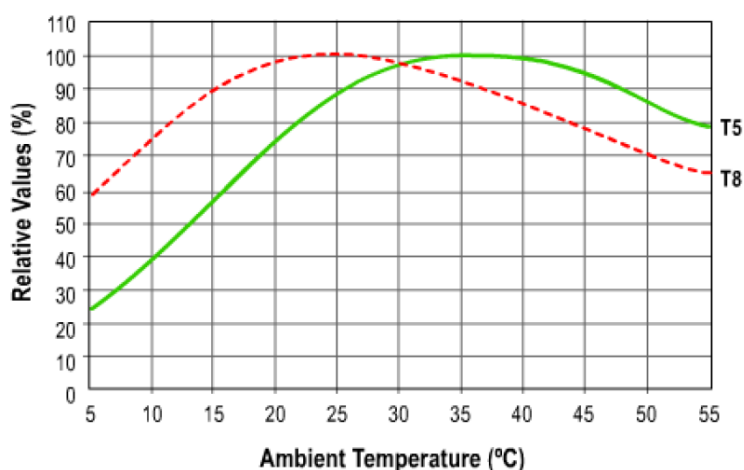
รูปที่ 2-9 เปรียบเทียบขนาดของหลอด T12, T8 และ T5

หลอด T5 สามารถรักษาปริมาณแสงออกมาได้มากกว่าหลอด T8 และ T12 โดยสามารถรักษาปริมาณแสงออกมาที่ 95 % ไว้ได้นานถึง 8,000 ชั่วโมง หรือ 40% ของอายุการใช้งาน ซึ่งแตกต่างจากหลอดเมทัลฮาไลด์หรือหลอดแสงจันทร์ที่ปริมาณแสงจะลดลงอย่างมาก แสดงผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 กราฟเปรียบเทียบการลดลงของแสงกับอายุการใช้งานของหลอด

หลอด T5 นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ผลิตแสงสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 °C (95°F) ซึ่งเป็นจุดทำงานที่เหมาะสมเนื่องจากอุณหภูมิของชุดโคมไฟขณะทำงานจะอยู่ในช่วงนี้ ซึ่งแตกต่างกับหลอดแบบ T8 ที่มีจุดผลิตแสงสูงสุดที่อุณหภูมิ 25 °C ต่างกับหลอด T5 10°C หลอด T5 จึงให้ปริมาณแสงมากกว่าที่จุดทำงานอุณหภูมิเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 กราฟเปรียบเทียบปริมาณแสงของหลอด T8 และ T5 กับอุณหภูมิแวดล้อม

ประสิทธิภาพของหลอดไฟ T5 ขนาด 35 W มีค่าประมาณ 104 lm/W (เฉพาะหลอดไฟ) และ 89 lm/W (มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งจะดูเหมือนว่ามีการปรับปรุงขึ้นเพียงเล็กน้อยคือประมาณ 7% แต่ทว่า การใช้โคมไฟอะลูมิเนียมซึ่งมีการสะท้อนแสงได้สูงมากนั้นจะมีประสิทธิภาพ

สูงกว่า หลอดไฟ T5 สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมได้ตั้งแต่ช่วง 11% ถึง 30% หลอดไฟ T5 จะมีการฉาบเคลือบที่ด้านในของผนังหลอดซึ่งจะยับยั้งไม่ให้ปรอทถูกดูดซับเข้าไปในแก้ว และสารเรืองแสง สิ่งนี้จะช่วยลดความต้องการใช้ปรอทลงจาก 15 มิลลิกรัม เหลือเป็น 3 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหลอด ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับประเทศที่มีกฎหมายการทิ้งขยะที่เข้มงวด

ในทวีปยุโรป หลอด T5 ถูกนำมาใช้มากโดยแทนที่หลอด T8 ขนาด 36 W โดยมีขนาดสั้นกว่าทำให้เข้ากับหน่วยมาตรฐานของอาคารได้ดี เนื่องจากมีขนาดของบัลลาสต์ลดลงมาก โคมไฟจึงมีน้ำหนักเบาและมีลักษณะแบนราบ ซึ่งจะประหยัดพื้นที่และแหล่งทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตหลอดไฟ

ข้อดีของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5

- โคมไฟมีประสิทธิภาพสูงถึง 93 %
- ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าความสูญเสียต่ำ
- หลอด T5 มีปริมาณการลดลงของแสงตลอดอายุการใช้งานน้อยกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดโซเดียมความดันต่ำ
- มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีมากกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดโซเดียมความดันต่ำ
- ประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปีได้ 55%
- อายุการใช้งานมากกว่า 20,000 ชั่วโมง
- ระยะเวลาคืนทุนเร็ว

ข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5

- สตาร์ทติดช้ากว่าหลอด T8 เนื่องจากต้องใช้เวลาในการอุ่นหลอดนานกว่า
- อาจทำให้มีค่าดัชนีแสงจำเกินได้ หากออกแบบไม่เหมาะสม

1.2) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent)

เป็นหลอดที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 8,000 ชั่วโมง จึงสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ เนื่องจากหลอดประเภทนี้มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 50 – 80 ลูเมนต่อวัตต์ ในการใช้เพื่อทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีลักษณะของแสงที่เป็นจุด ดังนั้นหากใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีลักษณะแสงเป็นแนวยาวจะทำให้เกิดเงาขึ้นเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบติดตั้งบัลลาสต์ไว้ภายนอก และ ภายใน สำหรับ ข้อดีของการเลือกใช้หลอดประเภทนี้ คือ ให้ระดับความสว่างมากและใช้กำลังไฟน้อย อายุการใช้งานยาวนาน ให้ความร้อนจากหลอดน้อย ให้แสงสว่างกระจายแสงจึงมีแสงบาดตาน้อย แต่ข้อเสียที่พบคือ จะต้องใช้ร่วมกับบัลลาสต์ เมื่อหลอดเสื่อมหรือใกล้เสื่อม แสงที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ และกระพริบ แสดงลักษณะของหลอดดังรูปที่ 2-12



แบบบัลลาสต์แยกภายนอก

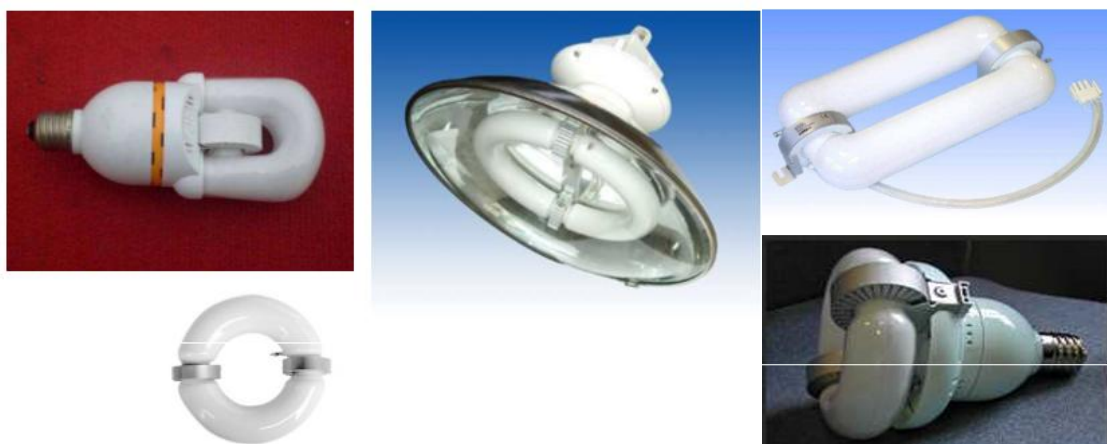


แบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในตัว

รูปที่ 2-12 ลักษณะของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

1.3) หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent)

หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำสามารถทำให้เกิดแสงโดยอาศัยการเกิดแรงดันสูงเหนี่ยวนำขึ้นที่หลอด เพื่อทำให้อิเล็กตรอนภายในหลอดแตกตัววิ่งไปกระทบกับอะตอมปรอท เพื่อปล่อยรังสียูวี และผ่านสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในผิวหลอด จนกลายเป็นแสงที่มองเห็นได้ หลักการคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป ลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำแสดงดังรูปที่ 2-13



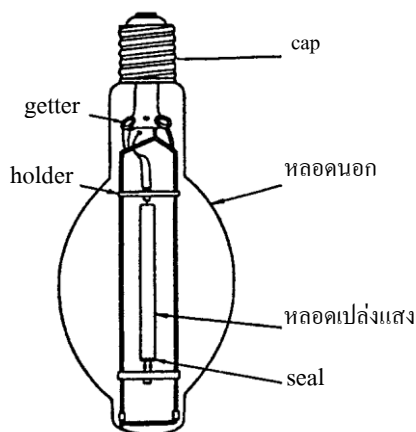
รูปที่ 2-13 ลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ

2) หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium)

เป็นหลอดที่ทำงานด้วยแสงจากการคายประจุในไอระเหยของโซเดียม ที่มีความดันประมาณ 0.5 Pa มี Lamp Efficiency สูงที่สุด แต่เนื่องจากให้แสงสีเดียวเป็นสีเหลืองส้ม (ความยาวคลื่น 589 nm) จึงมีคุณสมบัติ Color Rendering ต่ำมาก ไม่สามารถแยกแยะสีได้ ดังนั้นจึงไม่ใช้กับการให้แสงสว่างทั่วไป แต่จะใช้กับหลอดไฟในอุโมงค์ เป็นต้น หลอดโซเดียมความดันต่ำมีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงสุดในบรรดาหลอดทั้งหมดคือจะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง 100 – 189 lm/W มีช่วงเวลาที่ใช้ในการจุดติดหลอด และช่วงเริ่มเปลี่ยนแปลง (Run-up) ประมาณ 12 -15 นาที จึงเป็นหลอดที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ต้องเปิดไฟไว้เป็นระยะเวลานานแต่อย่างไรก็ตามเป็นหลอดให้ความร้อนสูง ไม่เหมาะกับกิจกรรมหรือบริเวณที่ต้องการความถูกต้องของสีสูง

3) หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium)

เป็นหลอดที่ทำงานด้วยแสงจากการคายประจุในไอระเหยของโซเดียมที่มีความดันประมาณ 10 kPa (ประมาณ 0.1 บรรยากาศ) โครงสร้างแสดงไว้ในรูปที่ 2-14 หลอดเปล่งแสงจะทำจาก Polycrystal Alumina-ceramics ที่ยอมให้แสงผ่านได้ ที่ปลายทั้งสองด้านจะติดตั้งขั้วไฟฟ้าหุ้มด้วยโลหะ Niobium โดยขั้วไฟฟ้าจะบรรจุสาร Emitter เอาไว้ ภายในหลอดจะบรรจุ Amalgam ของโซเดียมกับปรอท และก๊าซซีนอน (บางรุ่นก็ใช้ก๊าซนีออน-อาร์กอน) ภายในหลอดนอกจะเป็นสุญญากาศ



รูปที่ 2-14 โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง

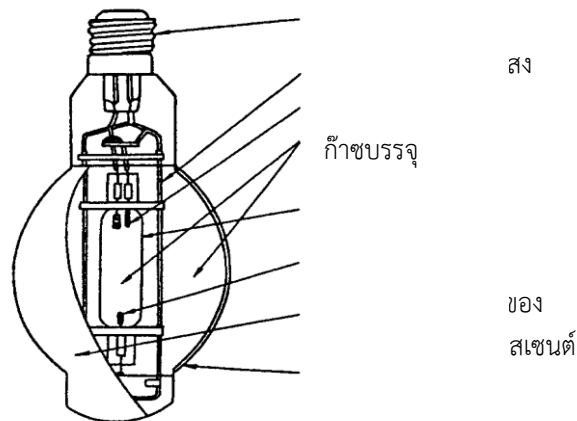
คุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันสูง มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในจำนวนแหล่งกำเนิดแสงสำหรับแสงสว่างทั่วไป (แหล่งกำเนิดแสงใกล้เคียงขาว) ส่วนเปล่งแสงของหลอดไฟมีขนาดเล็ก สามารถควบคุมแสงได้ค่อนข้างสะดวก มีกำลังวัตต์ให้เลือกมากมาย (35 W-1 kW) อายุการใช้งานยาวนาน มี Lumen Maintenance Factor ดีมาก การเปิดไฟและเปิดใหม่หลังจากปิดจะกินเวลานาน แต่ก็เร็วกว่าหลอด HID สีของแสงของหลอดแบบธรรมดาจะมีสีขาวเหลือง มีคุณสมบัติ Color Rendering ไม่ดี แต่ก็มีหลอดแบบคุณสมบัติ Color Rendering ดีด้วย เมื่อแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนไป เส้นแสงแสงจะเปลี่ยนไปมาก นอกจากนั้นการหรี่แสงสามารถทำได้เป็นขั้นๆ เท่านั้น แสดงตัวอย่างหลอดโซเดียมความดันสูง ดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 หลอดโซเดียมความดันสูง

4) หลอดปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury)

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ทำงานด้วยการแผ่รังสีจากการคายประจุภายในไอปรอทที่มีความดันไม่น้อยกว่า 100 kPa (ประมาณ 1 บรรยากาศ) โดยทั่วไปเรียกว่า หลอดปรอท มีโครงสร้างดังรูปที่ 2-16 ในหลอดเปล่งแสงจะติดตั้งขั้วไฟฟ้าหลักซึ่งบรรจุด้วยสาร Emitter ที่ทั้งสองด้านของแก้วควอตซ์ และมีขั้วไฟฟ้าเสริมเพื่อให้จุดหลอดได้ง่ายขึ้น ภายในหลอดจะบรรจุปรอทและก๊าซอาร์กอนเอาไว้ ขั้วไฟฟ้าเสริม จะต่อกับขั้วไฟฟ้าหลักด้านตรงข้ามผ่านตัวต้านทานที่มีค่าสูง หลอดนอกจะบรรจุไนโตรเจนเอาไว้เพื่อปกป้องชิ้นส่วนต่างๆ และรักษาเสถียรภาพของคุณลักษณะของหลอดไฟ



รูปที่ 2-16 โครงสร้างของหลอดปรอทความดันสูง

คุณสมบัติของหลอดปรอทความดันสูง คือ ส่วนเปล่งแสงของหลอดไฟมีขนาดเล็ก สามารถควบคุมแสงได้ค่อนข้างสะดวก มีกำลังวัตต์ให้เลือกใช้มากมาย (40 W—20 kW) มีอายุการใช้งานยาวนาน การเปิดไฟและเปิดใหม่หลังจากปิดจะกินเวลานาน มีคุณสมบัติ Color Rendering ไม่ดี และการหรี่แสงสามารถทำได้เป็นขั้นๆ เท่านั้น ลักษณะของหลอดไฟประเภทนี้แสดงดังรูปที่ 2-17



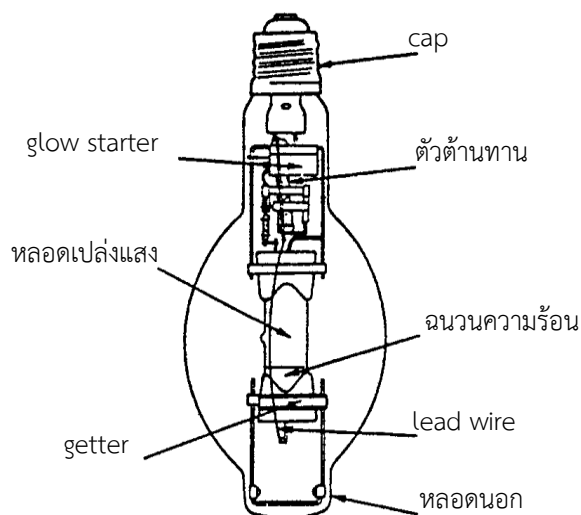
รูปที่ 2-17 หลอดปรอทความดันสูง

5) หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal halide)

หลอดเมทัลฮาไลด์มีโครงสร้างคล้ายกับหลอดปรอท แต่ภายในหลอดเปล่งแสงนอกจากจะบรรจุปรอทและก๊าซ Rare Gas เช่น อาร์กอน ฯลฯ แล้ว ยังมีสารประกอบฮาโลเจนของโลหะ (สารเมทัลเฮไลด์) บรรจุไว้อีกด้วย ระหว่างที่เปิดไฟ สารเหล่านี้จะเกิดการระเหย สารเมทัลฮาไลด์ที่อยู่ท่ามกลางการคายประจุ-การอาร์กจะสลายตัวกลายเป็นโลหะกับฮาโลเจน โลหะจะถูกกระตุ้นด้วยการอาร์กที่อุณหภูมิสูง และเปล่งแสงเฉพาะตัวของโลหะออกมา โลหะกำเนิดแสงชนิดต่างๆ จะให้สีของแสงที่แตกต่างกัน

โลหะกำเนิดแสงที่ใช้กับการให้แสงสว่างทั่วไป ได้แก่ โซเดียม (Na) ทาลเลียม (Tl) อินเดียม (In) สแกนเดียม (Sc) ดิสโพรเซียม (Dy) ดีบุก (Sn) เป็นต้น โดยจะบรรจุโลหะเหล่านี้ไว้หลายชนิดร่วมกัน

ตัวอย่างโครงสร้างแสดงไว้ในรูปที่ 2-18 โดยจะเคลือบฉนวนความร้อนไว้ที่ด้านนอกของหลอดเปล่งแสงใกล้ๆ กับขั้วไฟฟ้า เพื่อให้สารเมทัลเฮไลด์สามารถระเหยได้ดี ขั้วไฟฟ้าจะทำด้วยทังสเตนหรือทอเรียม หลอดชนิดนี้มีทั้งแบบใสและแบบฝ้า



รูปที่ 2-18 โครงสร้างของหลอดเมทัลฮาไลด์

คุณสมบัติของหลอดเมทัลฮาไลด์ คือ ส่วนเปล่งแสงของหลอดไฟมีขนาดเล็ก สามารถควบคุมแสงได้ค่อนข้างสะดวก มีกำลังวัตต์ให้เลือกมากมาย (50W - 2kW) มีสีของแสงให้เลือกมากมาย มีทั้งที่คุณสมบัติ Color Rendering ดีด้วย การเปิดไฟและเปิดใหม่หลังจากปิดจะกินเวลานาน เมื่อเปิดไฟเป็นเวลานานบางครั้งสีของแสงอาจไม่สม่ำเสมอได้ และไม่สามารถหรี่แสงได้ หลอดบางรุ่นจะระบุทิศทางของหลอดขณะเปิดไฟด้วย แสดงลักษณะของหลอดเมทัลฮาไลด์ดังรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 หลอดเมทัลฮาไลด์

6) หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode, LED)

LED เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถแปลงแสงสว่างเมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านตัวมัน แสงที่เกิดขึ้นเป็นการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำภายในตัว LED เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Electroluminescence ซึ่งแตกต่างจากหลอดทั่วไปซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าในการให้กำเนิดแสงสว่างและความร้อนที่เกิดขึ้นก็ต่ำด้วยเช่นกัน LED ยังสามารถแปลงแสงได้หลากสี ขึ้นอยู่กับการใช้อัตราส่วนของสารกึ่งตัวนำเมื่อทำการผลิต LED ปัจจุบันผลิตได้ทุกสีและยังสามารถผลิตแสงชนิดพิเศษอินฟราเรด (Infrared) ที่ตาคนมองไม่เห็นอีกด้วย

หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงขนาด 1 วัตต์ สีแดงจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 37 ลูเมนต่อวัตต์ สีเขียวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ สีน้ำเงินจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 12 ลูเมนต่อวัตต์ และสีขาวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 34 ลูเมนต่อวัตต์ หลอด LED แต่ละประเภทมีอายุการใช้งาน ประมาณ 50,000 ชั่วโมง แสดงรูปแบบของหลอด LED ดังรูปที่ 2-20



รูปที่ 2-20 หลอด LED

2.3.3 ข้อพิจารณาในการเลือกหลอดไฟฟ้า

การเลือกหลอดไฟฟ้าสำหรับใช้ประโยชน์ ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการส่องสว่าง ที่เหมาะสม หลอดที่มีประสิทธิภาพ หมายถึงหลอดที่สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าเมื่อเทียบ ณ ค่าการส่องสว่างที่เท่ากัน ปัจจัยหลักของการเลือกใช้หลอดนอกจากค่าประสิทธิภาพ แล้วควรคำนึงถึง ค่าฟลักซ์การส่องสว่าง ความถูกต้องของสี อุณหภูมิสี และอายุใช้งาน หลอดไฟแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และการให้แสงสว่างของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภท

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/w)	อายุการใช้งาน (h)
อินแคนเดสเซนต์	15-500	120-8,400	8-17	1,000
ฟลูออเรสเซนต์	18-36	1,300-3,350	72-93	12,000
ฟลักซ์การส่องสว่างสูง				
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์	8-23	420-1,350	53-64	8,000
บัลลาสต์ในตัว				
แอลอีดีสมรรถนะสูง (E27)	5	300	60	50,000
ไฮโปรทความดันสูง (เคิลือบ)	50-1,000	1,800-58,000	36-58	14,000
โซเดียมความดันสูง	100-400	10,000-56,000	100-140	18,000
ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง				
เมทัลฮาไลด์ (ข้าวเดียว)	70-2,000	5,100-189,000	73-95	20,000
โซเดียมความดันต่ำ	18-180	1,800-32,500	100-181	14,000
(ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง)				

2.4 โคมไฟ

โคมไฟเป็นอุปกรณ์การส่องสว่างที่มีการใช้งานกันทั่วไป เพราะนอกจากทำหน้าที่ยึดหลอดและอุปกรณ์ประกอบ เช่น บัลลาสต์ แล้ว ยังมีหน้าที่สำคัญ คือ ควบคุมทิศทางแสงให้กระจายไปตกบนพื้นที่ทำงานที่เราต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันอันตรายใดๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นกับหลอดไฟฟ้าได้อีกด้วย ปัจจุบันมีผู้ผลิตโคมไฟแบบต่างๆ มากมาย วัสดุที่ใช้ทำโคมไฟเพื่อกรองแสงไม่ให้จ้าเกินไปก็มีหลายชนิด ในการเลือกใช้งานโคมไฟ จึงไม่ควรเลือกโดยคำนึงถึงแต่ความสวยงามเพียงอย่างเดียว คุณสมบัติสำคัญที่ต้องพิจารณา ได้แก่

- ประสิทธิภาพของโคมไฟ คือ อัตราส่วนระหว่างลูเมนรวมที่ออกมาจากโคมไฟต่อลูเมนรวมที่ออกมาหลอดไฟฟ้า โคมไฟที่มีประสิทธิภาพสูงจะไม่ดูดกลืนหรือกักแสงไว้มาก

- สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization, CU) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าลูเมนรวมที่ไปถึงพื้นที่ทำงานต่อลูเมนรวมที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้า จึงเปรียบเสมือนได้รวมค่าประสิทธิภาพโคมไฟเข้ากับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น คือ ความสูงและสัดส่วนของห้อง หรือ อัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio) ตลอดจนค่าการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง และพื้นไว้ด้วยแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ได้จากความสัมพันธ์

$$CU = \frac{\text{ฟลักซ์แสงสว่างตกบนพื้นที่ทำงาน}}{\text{ฟลักซ์แสงสว่างทั้งหมดที่ออกจากโคม}}$$

■ ความเสื่อมจากโคมไฟสกปรก (Luminaire Dirt Depreciation, LDD) คือ การที่ปริมาณแสงลดลงตามระยะเวลาที่ใช้โคมไฟเนื่องจากการมีฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ ซึ่งขึ้นกับความสะอาดของพื้นที่และลักษณะของโคมไฟแต่ละชนิด ดังแสดงด้วยกราฟในรายละเอียดต่อไป

■ กราฟแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่าง (Luminaire Intensity Diagram) คือ กราฟในระบบโพลาร์โคออร์ดิเนต ที่แสดงค่ากำลังส่องสว่างของโคมไฟที่มุมต่างๆ รอบโคมไฟ ดังแสดงในรูปที่ข้างบน เพื่อใช้คำนวณความสว่างบนพื้นที่ทำงานที่จุดต่างๆ ซึ่งการออกแบบที่ดีนั้นจุดที่สว่างมากที่สุดและสว่างน้อยที่สุด ไม่ควรต่างกันเกินหนึ่งในหกของความสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ทำงานนั้น ทั้งนี้ผู้ผลิตมักจะระบุค่ามากที่สุดของระยะห่างระหว่างโคมเป็น อัตราส่วนระหว่างระยะห่างของโคมไฟกับความสูงของโคมไฟ (Spacing Per Mounting Height Ratio : S/Hm)

■ คุณสมบัติเฉพาะอื่นๆ นอกจากพิจารณาถึงการให้แสงสว่างที่เพียงพอแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงการป้องกันแสงจ้า ความปลอดภัย รวมถึงความยากง่ายในการซ่อมบำรุงประกอบด้วย

โคมไฟแบ่งออกได้หลายวิธี คือ การแบ่งตามชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ แบ่งตามลักษณะการติดตั้ง แบ่งตามลักษณะของการนำไปใช้งาน แบ่งตามลักษณะการกระจายแสง หรือแบ่งตามความเสื่อมจากโคมไฟสกปรกดังต่อไปนี้

2.4.1 การแบ่งประเภทโคมไฟ

1) โคมไฟประเภทที่แยกตามชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้

แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ ได้แก่ โคมไฟที่ใช้กับหลอดอินแคนเดสเซนต์ โคมไฟที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ และโคมไฟที่ใช้กับหลอด LED

2) แบ่งตามลักษณะการติดตั้ง

แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการติดตั้งของโคมไฟ ได้แก่ โคมไฟแบบห้อย (Pendent) โคมไฟแบบฝังเข้าไปในเพดาน (Recessed) และโคมไฟแบบยึดติดกับเพดาน (Surface)

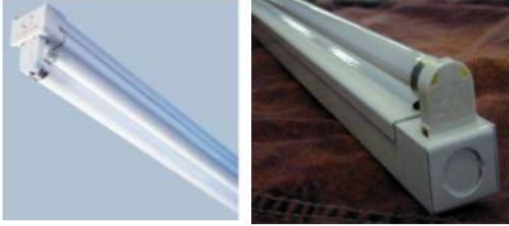
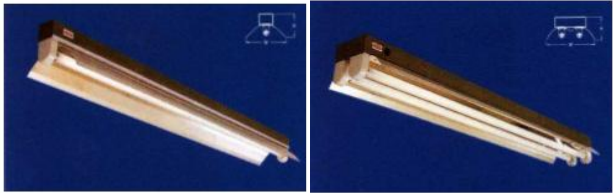
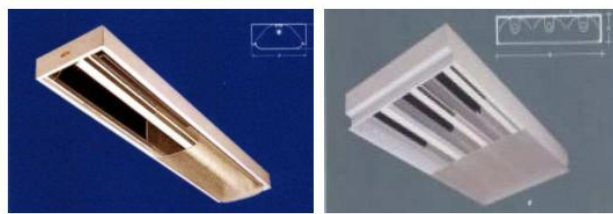
3) แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

บางครั้งเราก็แบ่งชนิดของโคมไฟออกตามลักษณะการนำไปใช้งาน เช่น โคมไฟสำหรับงานอุตสาหกรรม โคมไฟสำหรับบ้าน โคมไฟประดับ โคมไฟถนน นอกจากนี้ยังมีโคมไฟที่ออกแบบสำหรับงานพิเศษเฉพาะอย่าง เช่น โคมกันระเบิด ที่ใช้ในที่อาจติดไฟได้ง่าย โคมกันน้ำกันฝุ่น แสดงตัวอย่างโคมไฟแต่ละชนิดดังตารางที่ 2-5

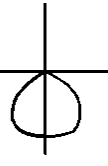
4) แบ่งตามลักษณะการกระจายแสง (Light Distribution Characteristic)

เป็นการแบ่งโดยพิจารณาจาก อัตราส่วนระหว่างแสงที่พุ่งจากโคมไฟขึ้นสู่เพดาน กับปริมาณแสงที่พุ่งจากโคมไฟลงสู่พื้น ซึ่งลักษณะของโคมไฟแต่ละประเภทที่แบ่งตามมาตรฐาน CIE – IES แสดงดังตารางที่ 2-6

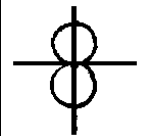
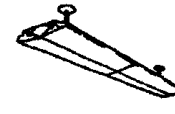
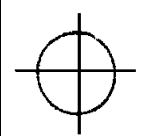
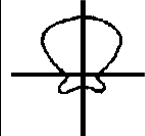
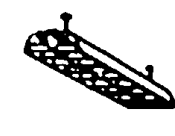
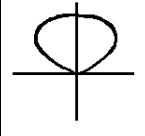
ตารางที่ 2-5 ประเภทของโคมไฟที่แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

ลักษณะของโคมไฟ	ชนิดและคุณลักษณะ
	โคมเปลือย (Bare Batten Type) ระบายความร้อนได้ดี มีราคาถูก แต่ประสิทธิภาพการกระจายแสงต่ำ และต้องอาศัยการบำรุงรักษาสูง
	โคมโรงงาน (Industrial Type) ระบายความร้อนได้ดี เหมาะกับการให้ความสว่างเฉพาะจุด การบำรุงรักษาสูง
	โคมตะแกรง (Fin Louver Type) เป็นโคมที่ช่วยลดแสงบาดตา แต่ให้ปริมาณแสงน้อย และต้องอาศัยการบำรุงรักษาสูง
	โคมพรีสมติก (Prismatic Diffuser Type) เป็นโคมที่ช่วยลดแสงบาดตา แต่มักให้ปริมาณแสงน้อยลง จึงเหมาะกับการติดตั้งในห้องนอน และเป็นโคมที่ใช้การบำรุงรักษาต่ำ

ตารางที่ 2-6 การแบ่งชนิดของโคมไฟตามชนิดการกระจายแสง

ชนิดของการกระจายแสง	% แสงส่องขึ้นบน	% แสงส่องลงล่าง	การกระจายความเข้มแสงสว่าง	รูปร่างดวงโคม	การนำไปใช้
แบบโดยตรง	0 - 10	90 - 100			โคมแบบนี้ให้แสงสว่างมากที่สุดเหมาะสมสำหรับอาคารเพดานสูง และมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงต่ำและอาจเป็นปัญหาเนื่องจากแสงจ้าสูงและคุณภาพแสงไม่สม่ำเสมอทั่วพื้นที่นัก

ตารางที่ 2-6 การแบ่งชนิดของโคมไฟตามชนิดการกระจายแสง (ต่อ)

ชนิดของการกระจายแสง	% แสงส่อง ขึ้นบน	% แสงส่อง ลงล่าง	การกระจาย ความเข้ม แสงสว่าง	รูปร่าง ดวงโคม	การนำไปใช้
แบบกึ่งตรง	10 - 30	60 - 90			การใช้งานเหมือนกับแบบโดยตรง แต่ใช้แสงบางส่วนสะท้อนจากเพดานแก้ปัญหาเงามืด จึงเหมาะกับที่ทำงาน ห้องเรียน
แบบโดยตรง - โดยอ้อม	40 - 60	60 - 40			เป็นการให้แสงอยู่ระหว่างโดยตรงและโดยอ้อมเพื่อแก้ไขในเรื่องคุณภาพของแสงและแสงสว่างน้อย
แบบกระจายทุกทิศทาง	60 - 40	60 - 40			ชนิดนี้เป็นแบบที่กระจายความสว่างทุกทิศทางเท่าๆ กันหมด
แบบกึ่งอ้อม	60 - 90	10 - 30			แบบนี้แสงส่วนใหญ่จะพุ่งขึ้นเพดานแล้วสะท้อนสู่พื้นที่ทำงาน มีส่วนน้อยที่พุ่งลงสู่พื้นที่ทำงานโดยตรงทำให้คุณภาพแสงและความสม่ำเสมอไม่มีแสงจ้า ข้อสำคัญคือให้แสงน้อย เพดานต้องมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงสูง
แบบโดยอ้อม	90 - 100	0 - 10			แบบนี้ให้แสงน้อยที่สุด เหมาะสำหรับอาคารเพดานต่ำ เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงต้องสูง คุณภาพของแสงดีมาก ไม่มีแสงจ้าและเงามืด

2.4.2 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้โคมไฟ

การเลือกใช้โคมไฟควรมีหลักของการพิจารณาที่สำคัญดังนี้

- 1) ความปลอดภัยของโคม: โคมไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานต้องได้รับมาตรฐานความปลอดภัยตามเกณฑ์ด้วย เช่น ต้องไม่มีคมจนอาจเกิดอันตราย ต้องมีระบบการต่อลงดินในกรณีที่ใช้กับไฟฟ้าสูงเพื่อไม่เป็นอันตรายกับคนที่มาเปลี่ยนหลอด
- 2) ประสิทธิภาพของโคมไฟฟ้า (Luminaire efficiency): โคมไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานหมายถึงโคมที่มีประสิทธิภาพของโคมสูงที่สุด คือ ให้ปริมาณแสงออกมาจากตัวโคมเมื่อเทียบกับปริมาณแสงที่ออกจากหลอดให้มีค่าสูงที่สุด ซึ่งหากพิจารณาตามมาตรฐานของโคมไฟประสิทธิภาพสูง สามารถพิจารณาโดยในแต่ละองค์ประกอบของโคมไฟ ได้แก่

- ตัวโคมไฟฟ้า ลักษณะของตัวโคมไฟแต่ละประเภทมีผลต่อการใช้งาน และประสิทธิภาพของการส่องสว่างที่เกิดขึ้น แตกต่างกัันดังนั้นควรเลือกลักษณะของตัวโคมที่เหมาะสม
- แผ่นสะท้อนแสง (Reflector) แผ่นสะท้อนแสงมีผลโดยตรงต่อการกระจายแสงออกจากตัวโคมไฟ ทำให้ได้ค่าแสงสว่างเพิ่มมากยิ่งขึ้น สามารถลดการใช้หลอดไฟ ต่อโคม จึงเป็นเทคนิคหนึ่งของการประหยัดพลังงานในระบบส่องสว่าง
- หน้ากากปรับแสง (Louver)
- แผ่นกรองแสง (Diffuser) ช่วยในการลดการกระจายของแสง ซึ่งแผ่นกรองแสงแต่ละชนิดจะให้เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ชนิดของพื้นผิวกรองแสง ต่อเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน

ชนิดพื้นผิวแผ่นอะครีลิกรองแสง (Type of Acrylic Surfaces)	เปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน (% Transmission)
แบบผิวใส (Clear)	94.71
แบบผิวส้ม (Stipple)	94.52
แบบปริสมติก (Prismatic)	85.93
แบบผิวสีนํม (Opal)	43.01

- ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของโคมไฟฟ้า (Coefficients of Utilization): ค่าที่ได้จากการวัดประสิทธิภาพของโคม โดยที่รวมผลของความสูงและสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนของผนังและเพดานโดยผู้ผลิต
- แสงบาดตาของโคม (Glare): เป็นค่าที่แสดงคุณภาพแสงของโคม ต้องเลือกโคมที่มีแสงบาดตาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
- กราฟการกระจายแสงของโคม (Distribution Curve): โคมมีหลายชนิดด้วยกันแต่ละโคมก็มีกราฟกระจายแสงของโคมต่างกัน การนำโคมไปใช้ต้องเลือกกราฟกระจายแสงของโคมที่เหมาะสมกับงาน
- การระบายความร้อนของโคม: โคมไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานควรจะมีการระบายความร้อนได้ดี ถ้ามีอุณหภูมิสะสมในโคมมากเกินไปอาจทำให้ปริมาณแสงที่ออกจากหลอดลดลง เช่น โคมไฟส่องลงหลอดคอมแพคถ้าไม่มีการระบายความร้อนที่ดีปริมาณลดลงถึง 40% เป็นต้น
- อายุการใช้งาน: โคมไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานต้องพิจารณาอายุการใช้งานด้วย เช่น โคมต้องทำด้วยวัสดุที่สามารถใช้งานได้นานตามที่ต้องการโดยไม่ผุกร่อน และไม่มีการเปลี่ยนรูปเมื่อมีการบำรุงรักษาเนื่องจากการเปลี่ยนหลอดหรือทำความสะอาด
- สถานที่ติดตั้ง: การเลือกใช้โคมแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับว่าต้องการนำไปใช้งานอะไรบ้างต้องการคุณภาพแสงมากน้อยเพียงใด หรือเน้นในเรื่องของปริมาณแสงแต่เพียงอย่างเดียว ต้องมีการป้องกันทางกล ป้องกันน้ำ ฝุ่นผงมากน้อยเพียงใด

2.5 บัลลาสต์

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์ทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ และทำหน้าที่ให้เกิดไฟฟ้าแรงสูงเพื่อจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ในตอนเริ่มต้นร่วมกับสตาร์ทเตอร์

มีกำลังสูญเสียมากตามไปด้วยโดยมีค่ากำลังสูญเสียประมาณ 8.0 – 12 วัตต์ สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 36 หรือ 40 วัตต์ และหลอด 18 หรือ 20 วัตต์ การสูญเสียดังกล่าวจะเปลี่ยนไปในรูปของความร้อน ซึ่งจะทำให้มีผลในการปรับอากาศของห้องที่มีการปรับอากาศด้วย



รูปที่ 2-21 บัลลาสต์ที่ใช้ขดลวดพันบนแกนเหล็กที่มีกำลังสูญเสียมาก

2.5.1 บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง

ถ้าหากต้องการลดกำลังสูญเสียในบัลลาสต์ลงจะต้องใช้เส้นลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และใช้แกนเหล็กที่มีคุณภาพดี อีกทั้งต้องมีพื้นที่สำหรับพันเส้นลวดมากขึ้น อันจะเป็นผลทำให้บัลลาสต์มีขนาด น้ำหนัก และราคาเพิ่มขึ้นซึ่งในปัจจุบันจะมีบัลลาสต์ที่ใช้เส้นลวดพันบนแกนเหล็กประสิทธิภาพสูงที่มีกำลังสูญเสียที่บัลลาสต์ประมาณ 5 – 6 วัตต์ วางจำหน่ายแต่จะมีราคาสูงขึ้นประมาณ 2 เท่า ซึ่งเราเรียกว่า บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2-22 บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง (Low loss)

ข้อดีของบัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง เป็นบัลลาสต์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เส้นลวดคุณภาพดีขึ้น มีความต้านทานของขดลวดน้อยลง ทำให้กำลังสูญเสีย I^2R ลดลง เมื่อใช้แกนเหล็กคุณภาพดีขึ้น มีความต้านทานของขดลวดน้อยลง ทำให้กำลังสูญเสียเนื่องจากการอิ่มตัวของแกนเหล็กลดลง

2.5.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2-23 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ คืออุปกรณ์ที่ใช้คู่กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อทดแทนบัลลาสต์แบบขดลวดโดยอาศัยหลักการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงในการลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์ แต่ยังสามารถที่จะควบคุมกระแสที่ผ่านหลอดและจุดหลอดได้ในตอนเริ่มต้นโดยไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์

ข้อดีของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. เมื่อใช้กับหลอด 18 – 40 วัตต์ กำลังสูญเสียลดลงเหลือ 3.5 - 4.0 วัตต์ (เทียบกับ 8.0 – 12 วัตต์ของบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา)
2. อายุการใช้งานของหลอดจะเพิ่มขึ้น
3. คงค่าความสว่างได้ดีเมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน
4. ใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 110 – 260 โวลต์
5. หลอดติดง่ายไม่มีการกะพริบหลายหน
6. เหมาะที่จะใช้กับการทำงานที่ต้องใช้สายตามาก
7. ไม่มีปัญหาเรื่องหลอดกะพริบจากสตาร์ทเตอร์เสีย เนื่องจากไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ และเมื่อหลอดเสื่อมวงจรจะหยุดทำงาน
8. ถ้าเกิดการลัดวงจรที่ขั้วออก จะไม่เกิดความร้อนสูงผิดปกติที่ตัวบัลลาสต์และไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับบัลลาสต์หรือเกิดไฟไหม้

ข้อเสียของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. มีการรบกวนเนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากกว่าบัลลาสต์แบบขดลวดพันบนแกนเหล็ก
2. ราคาสูงเมื่อเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดพันบนแกนเหล็ก
3. ถ้า เปิด / ปิด บ่อย ๆ จะทำให้อายุการใช้งานสั้น
4. มีความทนทานน้อยกว่าบัลลาสต์แบบขดลวดพันบนแกนเหล็ก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคทางวงจรอุปกรณ์ และการควบคุมคุณภาพของผู้ผลิต

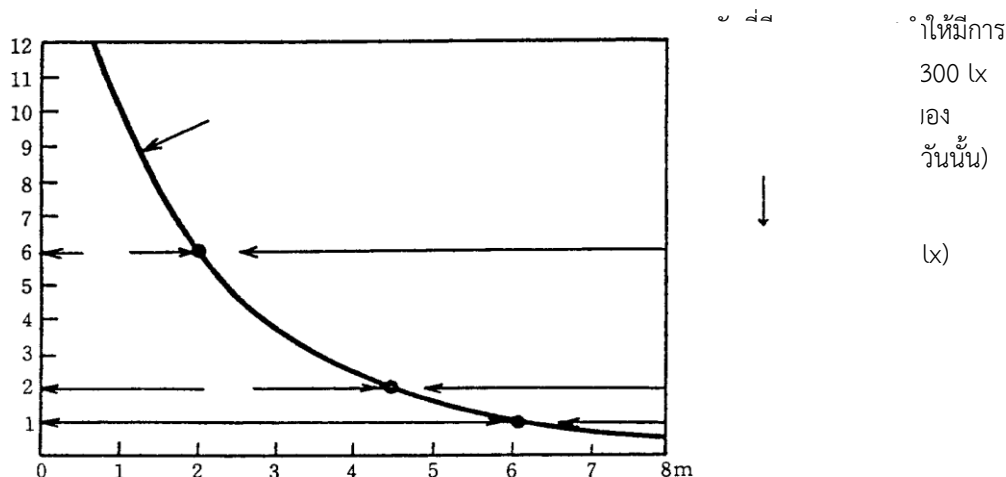
2.6 การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง (Energy Conservation in Lighting System)

2.6.1 แสงสว่างกับแสงธรรมชาติ

ปริมาณแสงธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของหน้าต่าง ฤดูกาลสภาพอากาศ เวลา ฯลฯ การนำแสงธรรมชาตินี้มาใช้ประโยชน์ และควบคุมแสงประดิษฐ์ให้เหมาะสมจะสามารถลดกำลังไฟฟ้าสำหรับกำเนิดแสงสว่างได้ รูปที่ 2-24 แสดงตัวอย่างการแจกแจง Daylight Factor โดย Daylight Factor เป็นอัตราส่วนระหว่างการส่องสว่างที่ระนาบทำงานภายในห้องต่อการส่องสว่างของท้องฟ้ารอบทิศทาง โดยไม่รวมแสงแดดโดยตรง

การดับไฟบางส่วนหรือหรี่ไฟในห้องให้สอดคล้องกับการส่องสว่างของแสงธรรมชาติเช่นนี้
จะมีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

ทั้งนี้ จำเป็นต้องตรวจสอบว่าไม่เกิดเงาจากมือบังหรือมีแสงจ้าเกินไปด้วย วิธีควบคุมแสงสว่างสามารถทำได้โดยเดินสายของหลอดไฟริมหน้าต่างให้เป็นแถวๆ และหากใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของการส่องสว่างของแสงธรรมชาติ ให้ทำการเปิด-ปิดไฟโดยอัตโนมัติก็จะช่วยลดความยุ่งยากได้



$$\text{daylight factor} = \frac{\text{การส่องสว่างที่ระนาบการทำงาน} \times 100\%}{\text{การส่องสว่างของท้องฟ้ารอบทิศทาง}}$$

รูปที่ 2-24 การแจกแจง Daylight Factor ของห้องที่เปิดรับแสงธรรมชาติด้านเดียว
(โดย นายคุนิโอะ มัตสึอูระ)

2.6.2 กลวิธีพื้นฐานของการอนุรักษ์พลังงานในการกำเนิดแสงสว่าง

กลวิธีของการอนุรักษ์พลังงานนี้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแสงสว่าง เช่น วัตถุประสงค์ สถานที่ เวลา ฯลฯ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นต่อไปนี้

1) หลอดประเภท Discharge Lamp จะต้องเปรียบเทียบ Overall Efficiency โดยคำนึงถึงความสูญเสียในบัลลาสต์ด้วย นอกจากนี้ หลอด Discharge Lamp บางชนิดยังมีความสูญเสียน้อยกว่าชนิดอื่น (เช่น หลอดความถี่สูงเป็นต้น)

2) แหล่งกำเนิดแสงที่มีประสิทธิภาพสูง มักจะมีคุณสมบัติของแสงด้านอื่นด้อยลง เช่น คุณสมบัติ Color Rendering เป็นต้น ดังนั้น จึงต้องเลือกใช้โดยคำนึงถึงผลลัพธ์ของแสงสว่างด้วย ในบางกรณีจะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเหล่านี้ได้ด้วยการใช้แสงหลายชนิดผสมกันด้วยการนำแหล่งกำเนิดแสงแบบอื่นมาใช้ร่วม

3) การใช้อุปกรณ์ส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพดี เมื่อใช้อุปกรณ์ส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงหรือที่มีค่า Utilization Factor สูง จะสามารถลดจำนวนอุปกรณ์ส่องสว่างและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ส่องสว่างที่ไม่มีครอบผ้าหรือ Spill Shield อาจมีแสงจ้าเกินไป หรือมีแสงสะท้อนในจอภาพ CRT ได้ จึงต้องใช้ความระมัดระวัง

2.6.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง

มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง จะมีหลายหลากวิธี แต่จะมีแนวทางในการปรับปรุงอยู่เพียง 3 แนวทาง

1) การใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ

ภายในอาคารส่วนมากแสงสว่างจากธรรมชาติเข้าไม่ถึง แสงสว่างจากไฟฟ้าจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการให้แสงสว่างภายในอาคาร แต่เราก็ไม่ควรละเลยการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ เพราะนอกจากเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบแสงสว่างแล้ว ยังเพิ่มคุณภาพให้กับสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วย การนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้มีอยู่ 2 วิธี

- การใช้แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ ในบริเวณที่รับแสงสว่างได้ควรพิจารณาปรับปรุงหลังคาบางส่วนให้โปร่งแสง แต่การรับแสงโดยตรงมีความเข้มแสงสูงถึง 80,700 lumen ต่อตารางเมตร จึงต้องใช้ตัวกลางกระจายแสง เช่น กระเบื้องไฟเบอร์โปร่งแสง แสงชนิดนี้ยังมีความไม่แน่นอน แปรเปลี่ยนได้มากในแต่ละช่วงเวลาอีกทั้งควบคุมได้ยาก จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้ในพื้นที่ที่ซึ่งแสงสว่างมีผลต่อประสิทธิภาพต่อการทำงานและพื้นที่ปรับอากาศ

- การใช้แสงสว่างจากท้องฟ้า การนำแสงธรรมชาติที่มาจากท้องฟ้า และแสงสะท้อนที่ปราศจากแสงโดยตรงมาใช้เป็นวิธีที่เหมาะสมอย่างยิ่งที่ใช้ในอาคาร เนื่องจากแสงชนิดนี้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอได้ง่าย และมีประสิทธิภาพแสงต่อความร้อนของแสงสูงถึง 140 Lumen/W ทั้งนี้ต้องอาศัยการออกแบบอาคารให้มีหน้าต่างรับแสงสว่างโดยมีส่วนยื่นหรือบังแดดที่เหมาะสม

ข้อดีและข้อเสียของการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ

- 1.1) การใช้แสงสว่างจากธรรมชาติไม่ต้องมีค่าใช้จ่าย
- 1.2) การออกแบบในการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ได้อย่างถูกต้องสามารถทำได้โดยไม่มีปัญหาจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด และทำให้ประหยัดพลังงาน
- 1.3) ให้พิจารณาเรื่องความจ้าของแสงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสภาวะการทำงานและความปลอดภัย

- 1.4) แสงสว่างจากธรรมชาติทำให้เกิดสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดีกว่า
- 1.5) สามารถติดตั้งอุปกรณ์ Sensor เพื่อตรวจจับปริมาณของแสงจากธรรมชาติ และนำไปใช้ในการควบคุมการเปิดปิดไฟโดยผ่านรีเลย์ หรือควบคุมโดยการหรี่ไฟได้ อุปกรณ์ Sensor นี้เหมาะสำหรับการใช้ร่วมกับปลั๊กสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำการหรี่ไฟของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ดี ทำให้ได้แสงสว่างจากหลอดไฟเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของแสงธรรมชาติที่ได้รับ
- 1.6) อุปกรณ์ Sensor นี้สามารถส่งข้อมูลให้กับเครื่องควบคุมทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคารตามความต้องการที่แตกต่างกันได้
- 1.7) การใช้แสงสว่างจากระบบดังกล่าวสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 20%
- 1.8) ควรหมั่นดูแลปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดจากอุปกรณ์ Sensor อยู่เสมอ
- 1.9) ควรติดตั้งและการดูแลรักษาที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.10) ถ้าติดตั้ง Sensor ไม่เหมาะสมอาจส่งผลทำให้แสงธรรมชาติเพิ่มโหลดความร้อนให้กับระบบปรับอากาศ หรืออาจมีผลทำให้เกิดความจ้าของแสงสว่างมากเกินไป

2) การจัดระบบแสงสว่างให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

หลังจากทบทวนการออกแบบระบบแสงสว่างที่เป็นอยู่ในปัจจุบันแล้ว ควรพิจารณาปรับปรุงการใช้งานระบบแสงสว่างในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเสียก่อน โดยการปรับลดความสว่างให้เหมาะสม การควบคุมการเปิด – ปิด การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

2.1) การปรับลดความสว่างให้เหมาะสม มักพบว่าการออกแบบระบบแสงสว่างตอนเริ่มต้นนั้นไม่สอดคล้องกับการใช้งานโดยทั่วไปการให้แสงสว่างมักมากเกินไปเพราะผู้ออกแบบต้องเผื่อเอาไว้ ดังนั้นสิ่งแรกคือการลดจำนวนหลอดไฟฟ้า โดยการถอดหลอดที่ไม่จำเป็นออก การเปลี่ยนวิธีของแสงให้เหมาะสม การใช้การหรี่แสง ทั้งนี้ต้องเผื่อระดับความสว่างให้คงเหลือสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจากความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งถ้ามีการบำรุงรักษาที่ดีก็จะสามารถลดระดับความสว่างให้มากขึ้น

- การลดจำนวนหลอดไฟฟ้า เป็นวิธีประหยัดไฟฟ้าที่มักทำโดยทั่วไป แต่ควรทำเมื่อพิจารณาอย่างรอบคอบแล้วว่า ความสว่างในพื้นที่นั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้มาตรฐานโดยไม่มีประโยชน์
- การเปลี่ยนวิธีการให้แสงอย่างเหมาะสม การให้แสงสว่างอย่างสม่ำเสมอโดยทั่ว บริเวณที่ทำงานนั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะกิจกรรมที่แตกต่างกันในพื้นที่ทำงาน มีความต้องการแสงสว่างไม่เท่ากันจึงควรออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้หลักการให้แสงสว่างเพียงพอเฉพาะที่มีการทำงาน แต่ต้องไม่ให้ความสว่างที่พื้นที่ต่างๆต่างกันมากกว่า 3 เท่าตัว
- การหรี่แสง บริเวณห้องที่ใช้สำหรับงานอเนกประสงค์ ซึ่งมีความต้องการแสงสว่างไม่แน่นอน เช่น ห้องประชุม ห้องดังกล่าวนี้ควรนำการหรี่แสงมาใช้เพื่อปรับระดับความ ต้องการแสงสว่างให้เหมาะสมกับความต้องการของกิจกรรมแต่ละชนิดหรือความพอใจของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน

2.2) การควบคุมการเปิด-ปิด จุดประสงค์ของการควบคุมการเปิด-ปิด คือ การไม่ใช้แสงสว่างในเวลาที่ไม่จำเป็นต้องใช้ อาจทำได้โดยการมอบหมายให้พนักงานมีหน้าที่ควบคุมการเปิดปิด หรือติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสม

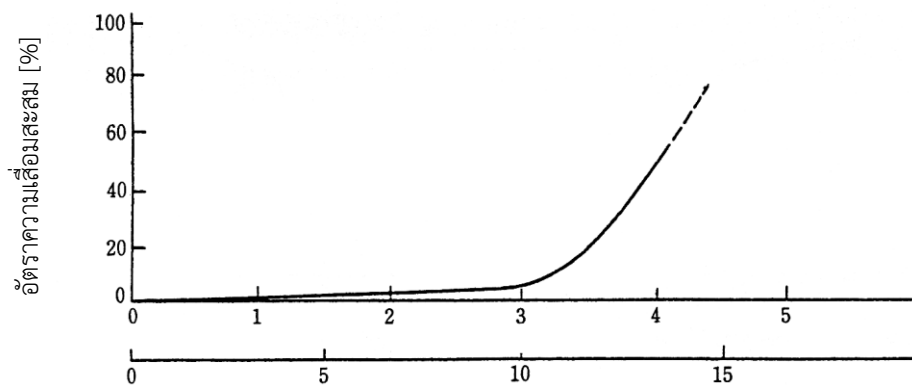
- การควบคุมการเปิด – ปิด โดยคนควบคุมแบ่งได้ 2 วิธี คือ การปิดทั้งหมด เช่น เวลาพักเที่ยง หลังเลิกงาน และการปิดบางส่วน เพื่อให้สามารถเปิดไฟได้จำนวนมากขึ้น ต้องพิจารณาแยกสวิตช์ หรือติดสวิตช์กระตุก ให้สามารถเลือกเปิด – ปิด โคมไฟในตำแหน่งต่างๆภายในห้องได้อย่างอิสระต่อกัน
- การควบคุมการเปิด – ปิด การเลือกใช้อุปกรณ์อัตโนมัติขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และพฤติกรรมของผู้ที่ทำงานในแต่ละพื้นที่นั้นๆ ดังต่อไปนี้
 - สวิตช์ตั้งเวลา (Timer) และสวิตช์หน่วงเวลา (Timer Delay Switch) การทำงานของสวิตช์มีสองแบบ แบบแรกคือสวิตช์ซึ่งจะเปิด – ปิดตามเวลาที่ตั้งไว้ล่วงหน้าจึงเหมาะกับพื้นที่ที่ต้องรู้เวลาการทำงานในแต่ละวัน
 - สวิตช์แสงแดด (Photo Cell Switch) เป็นสวิตช์ควบคุมการเปิด – ปิดโดยอาศัยแสงแดด เพื่อป้องกันการลืมเปิดไฟทิ้งไว้ในเวลาที่แสงอาทิตย์เพียงพอ
 - สวิตช์ตรวจจับการทำงาน (Occupancy Sensor) เป็นสวิตช์ควบคุมการเปิด – ปิดโดยอาศัยการตรวจจับการดำเนินของกิจกรรม เช่น การเคลื่อนไหว หรือเสียง เพื่อป้องกันการลืมเปิดไฟทิ้งไว้เวลาไม่มีคนอยู่

2.3) การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เมื่อใช้งานระบบแสงสว่างไประยะเวลานานๆ จะพบว่าความสว่างน้อยลงเนื่องจากความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หลอดไฟเสื่อมสภาพ โคมไฟสกปรก ดังนั้นการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ จึงมีความจำเป็นในการให้ได้มาซึ่งระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ดี หรือ มีประสิทธิภาพสูง

- การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าที่ขาด ในการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างย่อมจะมีหลอดขาดเกิดขึ้นเสมอ ต้องรีบแจ้งให้ฝ่ายซ่อมบำรุงมาเปลี่ยน
 - วิธีเปลี่ยนทีละดวง เปลี่ยนหลอดไฟเมื่อแสงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานหรือหลอดไฟไม่ติด วิธีนี้มีความคุ้มค่าในกรณีที่มีหลอดไฟจำนวนไม่มาก
 - วิธีเปลี่ยนทั้งหมด เปลี่ยนหลอดไฟทั้งหมดพร้อมกันเมื่อมีหลอดไฟไม่ติดจำนวนมาก ระดับหนึ่งจนไม่ได้ผลลัพธ์การส่องสว่างตามต้องการ วิธีนี้ใช้ในกรณีที่มีหลอดไฟจำนวนมากหรือการเปลี่ยนทีละดวงจะไม่สะดวก เช่น เพดานสูง
 - วิธีเปลี่ยนทีละดวง เปลี่ยนหลอดไฟทีละดวงจนถึงระยะเวลาหนึ่งเมื่อเปลี่ยนหลอดไฟได้จำนวนหนึ่งแล้วจึงทำการเปลี่ยนทั้งหมดพร้อมกัน วิธีนี้สามารถรักษาระดับ การส่องสว่างไว้ได้ และมีความคุ้มค่า กล่าวในกรณีที่ค่าแรงคนเปลี่ยนหลอดมีค่าสูง หรือกรณีที่อาคารสถานที่ที่มีขนาดใหญ่
- การทำความสะอาดหลอดไฟฟ้า เพดาน ผนังและพื้น การปล่อยให้ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ เกาะที่โคมไฟ ย่อมทำให้ประสิทธิภาพของโคมไฟลดลง ดังนั้นจึงควรทำความสะอาดโคมไฟฟ้าเป็นประจำ ความถี่จะขึ้นกับชนิดของโคมไฟ นอกจากโคมไฟแล้ว เพดาน ผนัง และพื้น ก็ควรมีการทำความสะอาดเช่นกัน สาเหตุใหญ่ที่ทำให้การส่องสว่างมีค่าลดลง ได้แก่ ความสกปรกที่ผิวสะท้อนหรือผิวโปร่งแสงของหลอดไฟและอุปกรณ์ส่องสว่าง ฝุ่นละอองที่จะให้แสงแรงแสงลดลง แสงสว่างทางอ้อมลดลง กล่าวคือความสกปรกหรือการเปลี่ยนสีของพื้นผิวภายในห้องทำให้การสะท้อนต่ำลง เป็นต้น การทำความสะอาดจะป้องกันการส่องสว่างมีค่าลดลงเนื่องจากความสกปรกได้อย่างมาก การส่องสว่างที่ลดลงเนื่องจากความสกปรกจะขึ้นอยู่กับอย่างมากกับสภาพแวดล้อม (การ

เกิดฝุ่นละออง การระบายอากาศ ฯลฯ) ดังนั้น จึงควรเก็บข้อมูลพื้นฐาน เช่น ตรวจวัด การส่องสว่าง ฯลฯ เอาไว้ และทำความสะอาดเป็นระยะ

- การตรวจซ่อม ควรตรวจซ่อมระบบแสงสว่างเป็นระยะ เพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรักษาความปลอดภัย
 - อุปกรณ์ส่องสว่าง ความผิดปกติของหลอดไฟ-ชิ้นส่วน แรงดันไฟฟ้าที่ชั่วสาย อุณหภูมิของ Cap สูงผิดปกติ ความต้านทานฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น
 - บัลลาสต์ ความต้านทานฉนวนไฟฟ้า อุณหภูมิสูงผิดปกติ เป็นต้น โดยทั่วไป บัลลาสต์ จะมีอายุใช้งาน 8-10 ปี



รูปที่ 2-25 อัตราเครื่องเสียสะสมของอุปกรณ์ส่องสว่าง
(ที่มา: คำอธิบายมาตรฐาน JIS C 8105 อุปกรณ์ส่องสว่าง)

3) การเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานประเภทต่างๆ มีรายละเอียดในแต่ละอุปกรณ์ดังนี้

3.1) การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ในการเลือกชนิดหลอดไฟฟ้านั้นต้องคำนึงหลายปัจจัยประกอบกัน เพื่อให้ได้หลอดไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยแรกคือ ประเภทการทำงาน จะเป็นตัวกำหนดความสว่าง ความถูกต้องของสี อุณหภูมิแสง ความสามารถในการหรี่ไฟ ระยะเวลาในการอุ่นหลอด สถานที่ที่ติดตั้งเป็นตัวกำหนด เช่น ความชื้น ความสั่นสะเทือน ความสูงเพดาน และปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย เช่น ราคา อายุการใช้งาน หากได้มีการตัดสินใจเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้าไม่ควรเปลี่ยนทั้งหมดทันทีทันใด ควรกำหนดพื้นที่ส่วนหนึ่งเพื่อทดสอบการใช้งานจริงและการยอมรับของผู้ทำงาน

3.2) การเลือกใช้บัลลาสต์สูญเสียต่ำ หากเป็นไปได้ควรเลือกใช้บัลลาสต์ที่สูญเสียต่ำสุด คือ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แต่โรงงานส่วนใหญ่มีข้อจำกัดเรื่องฝุ่นละออง และความชื้น ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

3.3 การเลือกใช้โคมประสิทธิภาพสูง การเลือกโคมที่มีประสิทธิภาพสูงที่เหมาะสมกับงานเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยประหยัดพลังงานได้มาก โดยโคมไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงประกอบด้วย

- แผ่นสะท้อนแสง (Reflector รวม Louvre ด้วย)ที่มีประสิทธิภาพสูง
- แผ่นอลูมิเนียมชนิด Mirror อย่างดี มีค่า Total Reflectance ประมาณ 85-86 %
- แผ่นอลูมิเนียมชนิด Matt อย่างดี มีค่า Total Reflectance ประมาณ 85-86 %

- แผ่นอลูมิเนียมชนิดเคลือบด้วย Silver อย่างดีและแผ่นอลูมิเนียมชนิดที่เคลือบด้วยสาร Super Reflector Oxid-layer มีค่า Total Reflectance ประมาณ 92-95 %
- มีรูปแบบของโคมที่ให้การสะท้อนแสงลงพื้นงานได้สูงสุด

นอกจากนี้เราสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพโคมเก่าที่ติดตั้งอยู่แล้ว โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมสะท้อนแสงที่เคลือบด้วยประจุไอออนของเงินโดยใช้กาวพิเศษมี 2 ชนิด คือแบบกระจายแสงที่ให้แสงสม่ำเสมอและแบบเงาให้แสงเฉพาะที่ ซึ่งสามารถลดปริมาณหลอดไฟจาก 4 หลอดเหลือ 2 หลอด หรือจาก 2 หลอดเป็น 1 หลอดได้ ขณะที่ความส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและต้นทุนต่ำกว่าเปลี่ยนทั้งโคม

2.6.4 การควบคุมอุปกรณ์แสงสว่าง

การเลือกใช้วิธีควบคุมที่เหมาะสมก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง การควบคุมระบบส่องสว่างมีทั้งการควบคุมตรวจจับคนภายในห้องด้วยเซ็นเซอร์ การควบคุมปรับความสว่างให้เหมาะสม การควบคุมตามกำหนดเวลา การควบคุมการใช้แสงกลางวัน การควบคุมเปิดปิดไฟนำทาง เป็นอีกหนึ่งแนวทางของการอนุรักษ์พลังงานของระบบส่องสว่าง

1) การควบคุมตรวจจับคนภายในห้อง

ใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรดหรือเซ็นเซอร์ อัลตราโซนิกตรวจจับว่ามีคนในห้องหรือไม่ แล้วเปิด-ปิดแสงสว่างโดยอัตโนมัติ การควบคุมนี้เหมาะกับการส่องสว่างในห้องที่มีการใช้งานไม่เป็นเวลา เช่น พื้นที่ส่วนกลาง ห้องล็อกเกอร์ ห้องรับแขก ห้องประชุม เป็นต้น ภายหลังจากนี้ยังมีการพัฒนาอุปกรณ์ส่องสว่างที่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับคนอยู่ในตัว ทำให้สามารถควบคุมตรวจจับคนภายในห้องได้สะดวกขึ้น

2) การควบคุมปรับความสว่างให้เหมาะสม

ในการออกแบบระบบแสงสว่างจะมีการเผื่อจำนวนเครื่องของอุปกรณ์ส่องสว่างให้เกินไว้บ้างเพื่อ ชดเชยเส้นแรงแสงของหลอดที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้น ความสว่างเมื่อสร้างอาคารเสร็จหรือเมื่อเปลี่ยนหลอดใหม่ จะมีค่าสูงกว่าความสว่างที่ออกแบบไว้ค่อนข้างมาก การควบคุมปรับความสว่างให้เหมาะสม จะใช้เซ็นเซอร์ปรับความสว่างส่วนเกินเหล่านี้ให้เหลือเท่ากับความสว่างที่ออกแบบไว้โดยอัตโนมัติ ภายหลังจากนี้ยังมีการใช้อุปกรณ์ส่องสว่าง ฟลูออเรสเซนต์ Hf ซึ่งสามารถปรับหรือหรี่แสงได้อย่างต่อเนื่อง จึงสามารถหรี่แสงให้มีความสว่างเท่ากับที่กำหนดโดยอัตโนมัติได้สะดวก เพียงเปลี่ยนอุปกรณ์ส่องสว่างแบบมีเซ็นเซอร์ในตัวข้างต้นเป็นเซ็นเซอร์ความสว่างก็สามารถทำได้

(3) การควบคุมตามกำหนดเวลา

เป็นวิธีควบคุมที่จะเปิดปิดไฟหรือหรี่แสงของระบบส่องสว่างตามเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานและลักษณะของอาคาร เช่น ก่อนเริ่มงาน พักกลางวัน หลังเลิกงาน เป็นต้น โดยจะเปิดปิดไฟหรือหรี่แสงโดยอัตโนมัติให้สอดคล้องกับระดับความสว่างและบทบาทที่ต้องการของระบบส่องสว่าง เป็นต้น

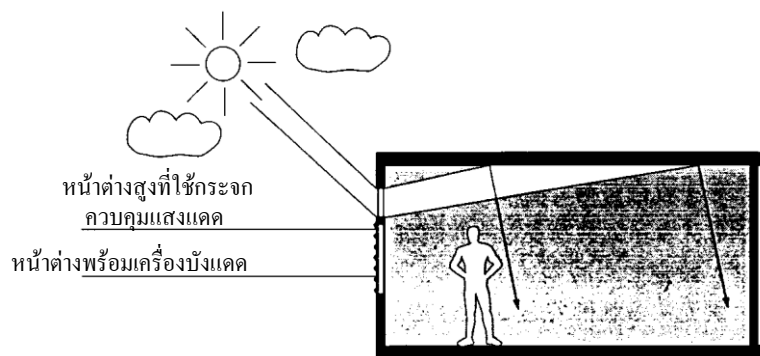
กรณีที่รูปแบบการควบคุมมีหลายรูปแบบ หรือกรณีที่เป้าหมายการควบคุมแบ่งย่อยละเอียดเป็นหลายแบบ โดยมากมักจะใช้อุปกรณ์ควบคุมเฉพาะทาง การควบคุมตามกำหนดเวลามักจะใช้โรงงาน สำนักงาน ร้านค้า เป็นต้น นอกจากนั้นการควบคุมแสงสว่างภายนอกอาคารโดยมากก็มักจะใช้ควบคุมตามกำหนดเวลา

(4) การควบคุมการใช้แสงกลางวัน

เป็นวิธีควบคุมการส่องสว่างให้สอดคล้องกับปริมาณแสงกลางวันที่เข้ามาจากหน้าต่างรับแสง โดยมากจะใช้อาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงงาน โรงยิม หรือในสำนักงานต่างๆ วิธีการควบคุมมีทั้ง การเปิดปิด การหรี่แสงเป็นขั้นๆ การหรี่แสงต่อเนื่อง เป็นต้น

การควบคุมการใช้แสงกลางวันในยุคแรกจะใช้วิธีเปิดปิดเกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะมีอิทธิพลทางจิตวิทยาต่อผู้ที่อยู่ในห้องอย่างมาก ปัจจุบันในงานที่ต้องใช้สายตาจึงแทบไม่ใช้กันแล้ว แต่จะใช้วิธีหรี่แสงต่อเนื่องเป็นหลัก

- **การใช้กระจกควบคุมแสงกลางวัน** ปัจจุบันมีกระจกควบคุมแสงกลางวันที่ใช้เทคโนโลยีชนิดใหม่ออกมาหลายประเภท เช่น Electrochromic Glass, Thermochromic Glass, HOE (Homographic Element) Glass, กระจกหน้าต่างเพดาน Silica Aerogel สมรรถนะสูง เป็นต้น หลักการทำงานของกระจกควบคุมแสงแดดส่องตรงซึ่งพัฒนาขึ้นในเยอรมันแสดงไว้ในรูปที่ 2-26 กระจกแบบนี้จะใช้ Parts พลาสติกอะคริลิกที่สอดไว้ระหว่างกระจกสองแผ่นในการสะท้อนแสงแดดที่ส่องกระทบหน้าต่างจากมุมสูงไปที่เพดาน แล้วใช้แสงสะท้อนทุติยภูมิจากเพดานในการส่องสว่างสิ่งแวดล้อม

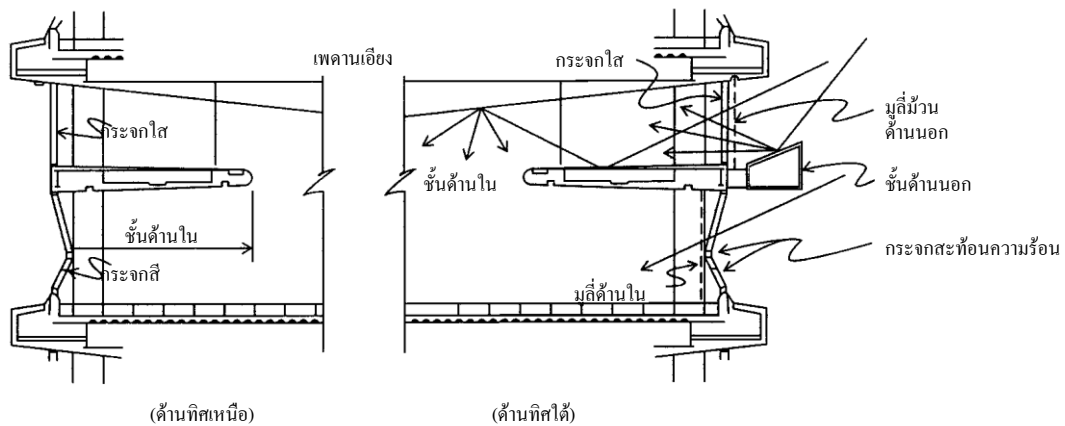


รูปที่ 2-26 หลักการของกระจกควบคุมแสงแดดส่องตรง

- **Light Shelf** เป็นกลไกการนำแสงมาใช้ซึ่งแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ต้นคริสต์ศตวรรษที่ 1980 หลักการทำงานในการนำแสงมาใช้ ได้แก่ การติดตั้ง Shelf (ชั้น) ไว้ระหว่างหน้าต่างรับแสงแนวดิ่ง เพื่อสะท้อนแสงแดดโดยตรงขึ้นไปเพดานและทำให้ส่วนที่อยู่ลึกภายในห้องได้รับแสงกลางวัน รวมทั้งสามารถบังแดดได้อีกด้วย

รูปที่ 2-27 เป็นตัวอย่างการนำ Light Shelf มาใช้ในสำนักงานในสหรัฐอเมริกา โดย Light Shelf ด้านทิศใต้จะประกอบด้วยชั้นด้านนอกกับชั้นด้านใน และ Light Shelf ด้านทิศเหนือจะมีแต่ชั้นด้านในเท่านั้น ชั้นด้านนอกจะทำหน้าที่แปลงแสงแดดโดยตรงในฤดูร้อนเมื่อดวงอาทิตย์อยู่สูง ชั้นด้านในจะทำหน้าที่แปลงแสงแดดโดยตรงในฤดูหนาวเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ต่ำให้เข้าไปในส่วนที่ลึกของห้อง เพดานจะมีลักษณะเอียงจากหน้าต่างด้านทิศเหนือและทิศใต้และจาก Atrium เข้ามาหาส่วนที่ลึกของห้อง เพื่อชักนำแสงแดดโดยตรงที่สะท้อนมาจาก Light Shelf เข้ามาในส่วนลึกของห้องอย่างมีประสิทธิภาพ เพดานข้างหน้าต่างจะมีความสูง 4.5 เมตร ส่วนกลางห้องจะสูงประมาณ 3 เมตร อนึ่ง การส่องสว่างแสงประดิษฐ์จะใช้วิธี Task-ambient Lighting โดย Ambient Lighting จะใช้วิธีส่อง

สว่างทางอ้อมด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งสามารถให้แสงได้ 10-100 [%] โดยอัตโนมัติ ให้สอดคล้องกับปริมาณแสงกลางวันที่เข้ามา



รูปที่ 2-27 ตัวอย่างการนำ Light Shelf ในสำนักงานในสหรัฐฯ

- **Toplight (หน้าต่างเพดาน)** หมายถึง หน้าต่างที่ติดตั้งในแนวระดับหรือเกือบระดับไว้ที่เพดานโดย Toplight จะใช้กันมากในอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงงานซึ่งเทียบกับหน้าต่างข้างแล้วจะมีประสิทธิภาพการนำแสงมาใช้สูงกว่ามาก นอกจากนั้น เนื่องจากแสงกลางวันจะส่องเข้ามาจากด้านบน ดังนั้นจึงมีข้อดีคือ ความสว่างภายในห้องจะมีการแจกแจงค่อนข้างสม่ำเสมอและไม่ถูกอาคารข้างเคียงบังแสง อย่างไรก็ตามในทางกลับกัน เวลาที่อากาศดีอาจมีแสงแดดส่องตรงเข้ามา ทำให้ผู้ที่อยู่ในห้องได้รับ Glare และความรำสึกร้อน

2.6.5 ตัวอย่างการศึกษาการจัดการระบบแสงสว่างให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

โรงงานแต่งแร่แห่งหนึ่งทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 290 วันต่อปี มีอาคารผลิต 2 หลัง มีการติดตั้งแผ่นกระเบื้องไฟเบอร์โปร่งแสง เพื่อใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ร่วมกับโคมไฟหลอดแสงจันทร์ซึ่งควบคุมการเปิด-ปิด ด้วยสวิตช์แสงแดด และมีการให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่ ด้วยโคมไฟ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์การใช้งานจากการออกแบบติดตั้ง พบว่ามีการติดตั้งหลอดไฟฟ้าเกินความจำเป็น ไม่คำนึงถึงประโยชน์แสงธรรมชาติและความสัมพันธ์กับพื้นที่ใช้งาน ทางทีมงานอนุรักษ์พลังงาน ของโรงงาน จึงดำเนินการสำรวจหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งเกินความจำเป็นและสำรวจตำแหน่งที่ต้องแยกสวิตช์ ดังผลที่ได้แสดงไว้ในตัวอย่างแผนผังและตารางที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง (แสดงเฉพาะในส่วนอาคาร 1) ซึ่งสามารถลดจำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W ลงได้ทั้งสิ้น 69 หลอด และควบคุมการเปิด-ปิด โดยการแยกสวิตช์จำนวน 25 หลอด ซึ่งสามารถคำนวณผลตอบแทนจากการลงทุนในแต่ละมาตรการได้ดังนี้

หลังดำเนินการลดจำนวนหลอดไฟฟ้า

เนื่องจากหลอดไฟฟ้าที่ลดลงได้ในแต่ละพื้นที่มีชั่วโมงทำงานในแต่ละวันไม่เท่ากัน จึงต้องคำนวณแยกทีละพื้นที่ดังนี้

- * บริเวณชั้นลอยและบอลมิล (เปิด 16 ชั่วโมง/วัน) จำนวน 59 หลอด

ชั่วโมงเปิดไฟต่อปี	=	16 (ชั่วโมง/วัน) × 290 (วัน/ปี)
	=	4,640 (ชั่วโมง/ปี)

- * บริเวณ Filter Press และ Walk-way (เปิด 12 ชั่วโมง/วัน) จำนวน 5 หลอด
 - ชั่วโมงเปิดไฟต่อปี = 12 (ชั่วโมง/วัน) × 290 (วัน/ปี)
- * บริเวณ Office (เปิด 8 ชั่วโมง/วัน) จำนวน 5 หลอด
 - ชั่วโมงเปิดไฟต่อปี = 8 (ชั่วโมง/วัน) × 290 (วัน/ปี)
 - = 2,320 (ชั่วโมง/ปี)
 - คิดเป็นการเปิดทั้งสิ้น = $[59 \times 4,640] + [5 \times 3,480] + [5 \times 2,320]$ (ชั่วโมง-หลอด/ปี)
 - = 302,760 (ชั่วโมง-หลอด/ปี)
 - ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง = 302,760 (ชั่วโมง-หลอด/ปี) × 46 (W/หลอด)
 - = 13,927,000 (W-ชั่วโมง/ปี)
 - = 13,927 (kWh/ปี)
 - ค่าไฟฟ้าต่อปีลดลง = 13,927 (kWh /ปี) × 2.75 (บาท/ kWh)
 - = 38,299.25 (บาท/ปี)
 - ค่าเสื่อมต่อปีลดลง = 302,760 (ชั่วโมง-หลอด/ปี) × 0.00468 (บาท/ชั่วโมง-หลอด)
 - = 1,417 (บาท/ปี)
 - ค่าดำเนินการต่อปีลดลง = 38,299.25 + 1,417 (บาท/ปี)
 - = 39,716.25 (บาท/ปี)

หลังดำเนินการแยกสวิทช์

เนื่องจากโคมไฟในบริเวณบอลมิลบางส่วนมีการทำงานไม่พร้อมกัน จึงมีการแยกสวิทช์ควบคุมเพิ่มอีก จุดละ 2 สวิทช์ และกำหนดให้แยกเปิดทีละสวิทช์ จึงทำให้ชั่วโมงการเปิดลดลงเหลือเพียง 1 ใน 3 เมื่อคิดค่าแยกสวิทช์จุดละ 1,000 บาท จะสามารถคำนวณผลได้ดังนี้

- ชั่วโมงเปิดไฟต่อปี = $\frac{1}{3} \times 16$ (ชั่วโมง/วัน) × 290 (วัน/ปี)
- = 1,547 (ชั่วโมง/ปี)
- ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง = 25 (หลอด) × 46 (W/หลอด) × (4,640 – 1,547) (ชั่วโมง/ปี)
- = 3,557 (kWh/ปี)
- ค่าไฟฟ้าต่อปีลดลง = 3,557 (kWh /ปี) × 2.75 (บาท/ kWh)
- = 9,781.75 (บาท/ปี)
- ค่าเสื่อมต่อปีลดลง = 25 (หลอด) × 0.00468 (บาท/ชั่วโมง-หลอด)
- × (4,640 – 1,547) (ชั่วโมง/ปี)
- = 362 (บาท/ปี)
- ค่าดำเนินการต่อปีลดลง = 9,781.75 + 362 (บาท/ปี)
- = 10,143.75 (บาท/ปี)
- เวลาคืนทุนอย่างง่าย = เงินลงทุน / ค่าดำเนินการที่ลดลง
- = 2,000 (บาท) / 10,143.75 (บาท/ปี)
- = 0.19 (ปี)

จะเห็นได้ว่าการแยกสวิทช์ก็เป็นอีกมาตรการที่คืนทุนเร็วมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ทำงานนั้นมีการทำงานไม่พร้อมกันบ่อยหรือไม่ ซึ่งการจัดการระบบแสงสว่างให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่โรงงานทั่วไปควรทำ คือ กำหนดเวลาเปิด-ปิด โดยคนควบคุมการติดสวิตช์สวิทช์ การย้ายตำแหน่ง หรือใช้สวิทช์สองทาง โดยที่มาตรการ

เหล่านี้ล้วนเป็นการลดเวลาเปิดไฟ ดังนั้นเมื่อประเมินจำนวนชั่วโมงเปิดไฟต่อปีที่ลดลง และค่าดำเนินการได้ ก็จะสามารถคำนวณผลการประหยัดได้

นอกจากนี้การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอก็เป็นมาตรการอีกประเภทหนึ่งในการจัดการระบบแสงสว่างให้ทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะการบำรุงรักษาถึงจนเกินไปจะทำให้ค่าบำรุงสูงขึ้นจนอาจมากกว่าค่าไฟฟ้าที่ลดได้ ดังนั้นจึงควรคำนวณ เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน เพื่อกำหนดช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำรุงรักษา ซึ่งจะทำให้มีค่าดำเนินการต่ำที่สุด

แบบประเมินผลการเรียน

หน่วยที่ 2

หลอดไฟ

คำสั่ง จงทำเครื่องหมาย X ลงข้อที่ถูกต้อง

- หน่วยของประสิทธิภาพของการส่องสว่าง คือหน่วยอะไร
ก. ลูเมน
ข. วัตต์
ค. ลูเมนต่อวัตต์
ง. ลักซ์ต่อวัตต์
- แสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน หรือโหนดสี Daylight ให้ช่วงอุณหภูมิสีของแสงอยู่ในช่วงใด
ก. 2,500
ข. 3,500
ค. 4,500
ง. 5,500
- หลอดไฟที่มีฟลักซ์ของการส่องสว่างสูงเหมาะกับการนำไปติดตั้งที่ใด
ก. ห้องอ่านหนังสือ
ข. โรงหนัง
ค. ห้องโถงที่มีแสงแดดส่องถึง
ง. ห้องนอน
- ข้อใดไม่ใช่แนวทางในการลดแสงบาดตา
ก. ในบริเวณที่มีโอกาสเกิดแสงบาดตาควรเลือกใช้โคมไฟแบบส่องลงมากกว่าแบบส่องขึ้น
ข. เลือกติดตั้งโคมไฟที่มีตะแกรงลดมุมของแนวสายตาไปยังหลอดไฟโดยตรง
ค. ติดตั้งมู่ลี่ ม่านบังแสง หรือกันสาดเพื่อลดแสงจ้าจากดวงอาทิตย์
ง. ปรับตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟ หรือปรับพื้นที่การใช้งานในอาคาร
- การเปรียบเทียบสีของแสงจากหลอดอินแคนเดสเซนต์กับสีของแสงที่แผ่ออกมาจากการเผาวัตถุดำที่อุณหภูมิต่างๆ คือคำนิยามของข้อใด
ก. อุณหภูมิสี
ข. การแสดงสี
ค. ดัชนีแสง
ง. ดัชนีอุณหภูมิสี
- สีใดมีค่าร้อยละของการสะท้อนแสงมากที่สุด
ก. เหลือง
ข. ขาว
ค. เขียวอ่อน
ง. น้ำเงินอ่อน
- แสงสว่างที่หลอดไฟแต่ละชนิดเปล่งออกมาจะมีคุณภาพที่แตกต่างกัน โดยการพิจารณาคุณภาพของแสงจะพิจารณาจากคุณลักษณะข้อใด
ก. อุณหภูมิสี
ข. อุณหภูมิสีเทียบเคียง
ค. การแสดงสี
ง. ข้อ ก ข และ ค ถูก

8. หากต้องการเปลี่ยนหลอดไฟที่ทดแทนการใช้ไส้ธรรมดา ควรเลือกใช้หลอดชนิดใด เมื่อต้องการประหยัดไฟให้มากขึ้นแต่ใช้โคมเดิม
- ก. หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา ข. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์
ค. หลอดแสงจันทร์ ง. หลอดเมทัลฮาไลด์
9. การเปลี่ยนหลอดไส้ให้เป็นหลอดตะเกียบมีข้อดีอย่างไร
- ก. ให้แสงสว่างเพิ่มแต่ได้ความร้อนเพิ่มขึ้น ข. ให้แสงสว่างลดลงแต่ได้ความร้อนเพิ่มขึ้น
ค. ให้แสงสว่างเพิ่มแต่ได้ความร้อนลดลง ง. ไม่มีข้อถูก
10. หลอดไฟประเภทใดให้ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงสุด
- ก. หลอดเมทัลฮาไลด์ ข. หลอดโซเดียมความดันไอสูง
ค. หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ ง. หลอดแสงจันทร์
11. หลอดชนิดใดที่มีหลักการทำงานโดยเมื่อมีไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทั้งสแตต ขดลวดจะร้อนจนแดงและเปล่งแสงออกมา
- ก. หลอดแสงจันทร์ ข. หลอดโลหะฮาไลด์
ค. หลอดอินแคนเดสเซนต์ ง. หลอดฟลูออเรสเซนต์
12. สมศักดิ์ต้องการเปลี่ยนหลอดไส้ที่มีกำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ ที่ติดตั้งในห้องทำงานต้องใช้ความสว่างประมาณ 800 ลูเมน สมศักดิ์ควรเลือกเปลี่ยนหลอดประเภทใดถึงจะประหยัดไฟฟ้า และทดแทนการใช้งานของระบบส่องสว่างเดิมได้
- ก. หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 13 – 15 วัตต์
ข. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ขนาด 13 – 15 วัตต์
ค. หลอด LED ขนาด 6 – 8 วัตต์
ง. หลอด LED ชนิด Bulb ขนาด 6 – 8 วัตต์
13. ข้อต่อไปนี้เป็นไม่ใช่หลักที่ใช้ในการเลือกหลอดไฟเพื่อประหยัดพลังงานในระบบส่องสว่าง
- ก. แฟลักซ์การส่องสว่าง ข. แสงบาดตา
ค. ประสิทธิภาพการส่องสว่าง ง. อายุการใช้งาน
14. โคมไฟประสิทธิภาพสูงหมายถึง โคมไฟที่แสงคุณสมบัติข้อใด
- ก. ควบคุมแสงบาดตา ข. มีแผนกระจายแสงและสะท้อนแสงดี
ค. ให้แสงสว่างมาก ง. ใช้พลังงานน้อย
15. โคมไฟชนิดใดนิยมใช้ในการติดตั้งบนหลังคาที่มีความสูงมากๆ
- ก. โคมไฟดาวนไลท์ ข. โคม Up light
ค. โคมไฮเบย์ ง. โคมพรีสมติก

16. โคมไฟที่ดีควรจะสามารกระจายความร้อนได้ดีด้วยเพราะเหตุผลข้อใด
- ก. การสะสมความร้อนในโคมไฟมีผลทำให้แสงสว่างลดลง
 - ข. ความร้อนที่สะสมในโคมไฟทำให้มีการกระจายของแสงเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดแสงบาดตา
 - ค. ความร้อนที่สะสมในโคมไฟทำให้มีการใช้ไฟเพิ่มมากขึ้น
 - ง. ถูกทุกข้อ
17. อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการจุดติดที่ช่วยในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสม และมีหน้าที่ในการปรับหรือแสงสว่างขณะระบบส่องสว่างทำงาน คืออะไร
- ก. โคมไฟ
 - ข. หลอดไฟ
 - ค. สวิตช์
 - ง. บัลลาสต์
18. ปัจจัยประกอบในการพิจารณาเลือกใช้บัลลาสต์คืออะไร
- ก. มีคลื่นรบกวนน้อยที่สุด
 - ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุด
 - ค. ราคาต่ำสุด
 - ง. ราคาสูงสุด
19. ข้อดีของการเลือกใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ คืออะไร
- ก. มีการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า น้อย
 - ข. สามารถ เปิด/ปิด ได้บ่อยๆ ไม่มีผลต่ออายุการทำงานของบัลลาสต์
 - ค. ราคาต่ำสุด
 - ง. ช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของหลอดไฟ
20. สาเหตุที่ทำให้บัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงให้ค่าการประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไปคือข้อใด
- ก. เปลี่ยนขดลวดให้มีความต้านทานน้อยกว่า
 - ข. ใช้วัสดุในการจัดสร้างที่มีน้ำหนักเบากว่า
 - ค. ปรับขนาดให้มีขนาดเล็กกว่า
 - ง. ถูกทั้งข้อ ก และ ข.
21. วิสัยต้องการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จากหลอดประเภท T8 ขนาด 36 วัตต์ เป็นหลอด T5 ขนาด 28 วัตต์ ในห้องนั่งเล่นที่ต้องเปิดไฟเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน อยากทราบว่าผลของการเปลี่ยนหลอดไฟดังกล่าววิสัยจะประหยัดไฟได้กี่หน่วยในรอบ 1 ปี
- ก. 22.36 หน่วย
 - ข. 23.36 หน่วย
 - ค. 24.36 หน่วย
 - ง. 25.36 หน่วย
22. วิธีการใดต่อไปนี้เป็นแนวทางของการปรับความสว่างให้เหมาะสมกับการใช้งานที่สามารถลดการใช้พลังงานในระบบส่องสว่างลงได้
- ก. การถอดหลอดที่ไม่จำเป็น
 - ข. ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการหรี่แสง
 - ค. ทำความสะอาดหลอดไฟเสมอ
 - ง. ถูกทุกข้อ

23. บริษัท A ต้องการควบคุมการปิด-เปิด การใช้งานหลอดไฟในอาคารสำนักงาน ซึ่งมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ จำนวนทั้งสิ้น 250 หลอด โดยบริษัทจะทำการปิดหลอดในช่วงพักกลางวันของทุกวันทำการ (6 วันต่อสัปดาห์) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อลดการใช้งานของระบบส่องสว่างเดิมลงจากการใช้งานปกติเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน และหากบริษัทต้องเสียเงินค่าไฟเฉลี่ย 4.5 บาทต่อหน่วย อยากทราบว่าในเดือนถัดไปบริษัทจะสามารถลดค่าไฟลงได้กี่บาท
- ก. 772 บาท ข. 872 บาท ค. 972 บาท ง. 1072 บาท
24. ข้อใดถือเป็นการจัดระบบแสงสว่างในที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- ก. เคน ติดม่านบังแดด และเปิดไฟแทนเพราะแสงแดดทำให้อุณหภูมิในห้องเพิ่มสูงขึ้น
- ข. ญ่า ห้ามให้แม่บ้านทำความสะอาดหลอดไฟเพราะอาจเกิดอันตรายได้
- ค. ณเดช ติดตั้งระบบหรี่แสงในห้องนั่งเล่นเพื่อใช้ขณะมีการจัดงานเลี้ยง
- ง. บอย เปิดไฟในบ้านดวงเดียวเสมอเพื่อช่วยที่บ้านประหยัดค่าไฟ
25. ข้อใดถือเป็นแนวทางของการประหยัดพลังงานในระบบส่องสว่างที่ถูกต้อง
- ก. การเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพ
- ข. การใช้แสงสว่างธรรมชาติในบริเวณที่เป็นไปได้
- ค. การจัดระบบแสงสว่างให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- ง. ถูกทุกข้อ
26. หลอดไฟประเภทใดให้ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงสุด
- ก. หลอดเมทัลฮาไลด์ ข. หลอดโซเดียมความดันไอสูง
- ค. หลอดโซเดียมความดันไอลด ง. หลอดแสงจันทร์
27. หากต้องการเปลี่ยนหลอดไฟที่ทดแทนการใช้หลอดธรรมดา ควรเลือกใช้หลอดชนิดใด เมื่อต้องการประหยัดไฟให้มากขึ้นแต่ใช้โคมเดิม
- ก. หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา ข. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์
- ค. หลอดแสงจันทร์ ง. หลอดเมทัลฮาไลด์
28. โคมไฟประสิทธิภาพสูงหมายถึง โคมไฟที่แสงคุณสมบัติข้อใด
- ก. ควบคุมแสงบาดตา ข. มีแผ่นกระจายแสงและสะท้อนแสงดี
- ค. ให้แสงสว่างมาก ง. ใช้พลังงานน้อย
29. ปัจจัยประกอบในการพิจารณาเลือกใช้บัลลาสต์คืออะไร
- ก. มีคลื่นรบกวนน้อยที่สุด ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุด
- ค. ราคาต่ำสุด ง. ราคาสูงสุด



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



โครงการพัฒนาลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

รายวิชาที่ 2

เครื่องปรับอากาศ

รหัส 2104-2106 หน่วยที่ 10 แผนภูมิไซโครเมตริก

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พ.ศ. 2556

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านภาษา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สังคมศึกษา สุขศึกษาและพลศึกษาในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวกับการพัฒนาวิชาชีพช่างไฟฟ้ากำลังให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการและกระบวนการงานพื้นฐานด้านอุตสาหกรรม
4. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในงานผลิตและงานบริการทางไฟฟ้าตามหลักการและกระบวนการในลักษณะครบวงจรเชิงธุรกิจ โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานช่างไฟฟ้ากำลังในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะพื้นฐานในการศึกษาต่อระดับสูงขึ้น
6. เพื่อให้สามารถเลือก ใช้ ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในงานอาชีพช่างไฟฟ้ากำลัง
7. เพื่อให้มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์ ประหยัด อดทน มีวินัย มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด สามารถพัฒนาตนเองและทำงานร่วมกับผู้อื่น

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 2104-2106	ชื่อรายวิชา เครื่องปรับอากาศ	1-6-3
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	สาขาวิชา ช่างไฟฟ้ากำลัง	
ทฤษฎีรวม 1 คาบ	ปฏิบัติรวม 6 คาบ	3 หน่วยกิต

จุดประสงค์รายวิชา

1. รู้และเข้าใจหลักการทำงานโครงสร้างและส่วนประกอบของระบบเครื่องปรับอากาศ
2. มีทักษะเกี่ยวกับการติดตั้ง ซ่อมบำรุง บริการ และบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
3. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน มีความละเอียดรอบคอบ ปลอดภัย เป็นระเบียบ สะอาด ตรงต่อเวลา มีความซื่อสัตย์และความรับผิดชอบ

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
2. ประกอบ ติดตั้ง และตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศ
3. ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับหลักการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ โครงสร้างส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศ แบบต่างๆ อุปกรณ์ควบคุมการใช้อินเวอร์เตอร์ในระบบปรับอากาศ การคำนวณหาขนาดเครื่องปรับอากาศ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบต่างๆ การทำสุญญากาศ การบรรจุสารทำความเย็น การตรวจสอบหาข้อบกพร่องและแก้ไขข้อบกพร่อง และการบริการเครื่องปรับอากาศ

หน่วยการสอน
รหัส 2104-2106 วิชา เครื่องปรับอากาศ จำนวน 7 ชั่วโมง / สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
-	ปฐมนิเทศ	1
1	ความหมายของการปรับอากาศ	5
2	ชนิดของการทำความเย็น	6
3	การทำความเย็นแบบอัดไอ	6
4	วงจรไฟฟ้าเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ	6
5	รีเลย์ในระบบการทำความเย็น	6
6	ระบบตู้เย็นในครัวเรือน	6
7	ชนิดของเครื่องปรับอากาศ	6
8	การติดตั้งเครื่องปรับอากาศ	6
9	การคำนวณโหลดความร้อน	6
10	แผนภูมิไซโครเมตริก	6
11	วงจรอากาศและท่อลม	6
12	การควบคุมการปรับอากาศ	6
13	การประหยัดพลังงาน	6
14	สารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่น	6
15	การปรับอากาศรถยนต์	6
16	การตรวจซ่อม-บำรุงรักษาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ	6
17	ทบทวนบทเรียน	6
18	สอบปลายภาค	
รวม		102

เกณฑ์การประเมินผล
วิชา เครื่องปรับอากาศ รหัส 2104-2106

รายการ	คะแนน	หมายเหตุ
1. คุณลักษณะที่ต้องการการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและ คุณลักษณะอันพึงประสงค์	20	
2. แบบฝึกหัด	20	
3. ปฏิบัติ	30	
4. สอบปลายภาค	30	
รวม	100	

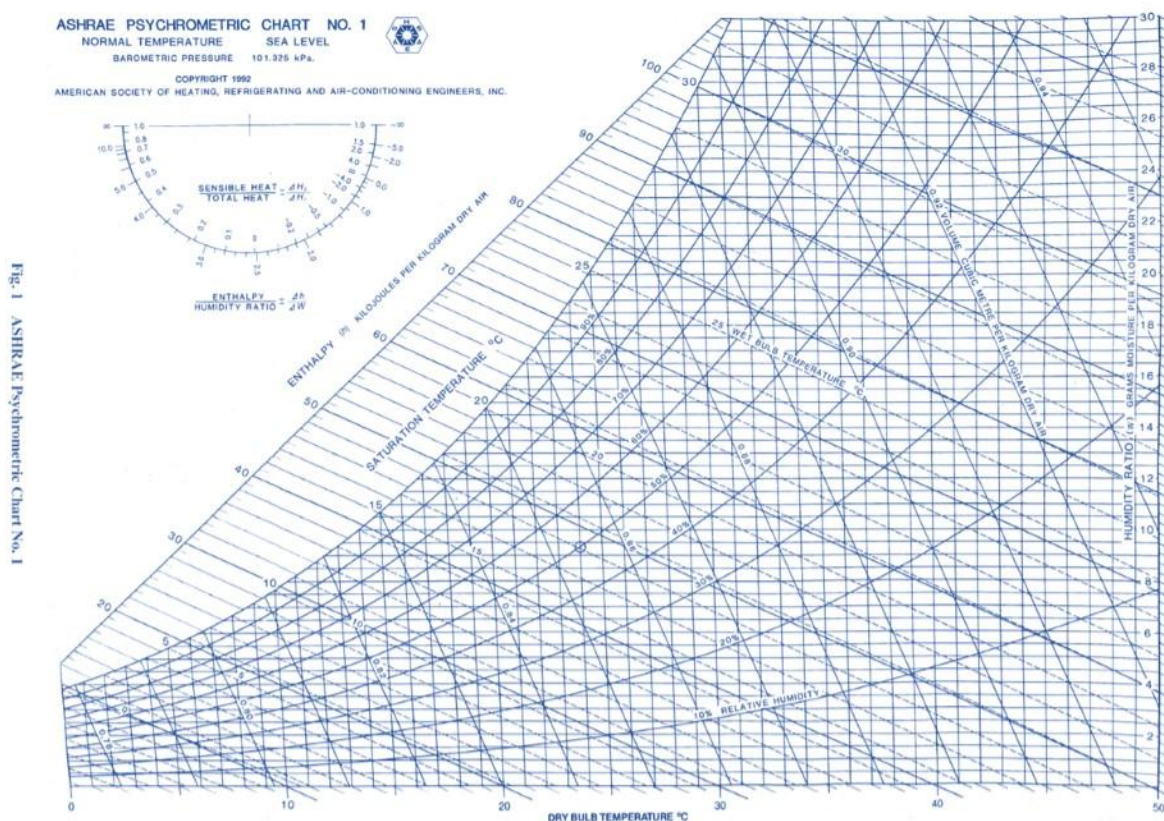
  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 10
	ชื่อวิชา เครื่องปรับอากาศ	เวลาเรียน 7 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย แผนภูมิไซโครเมตริก	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน แผนภูมิไซโครเมตริก		
สาระสำคัญ ในการปรับอากาศสำหรับพื้นที่กว้างหรือพื้นที่จำนวนมากๆ และพร้อมๆ กันนั้นเป็นเรื่องยากและสิ้นเปลืองค่อนข้างสูง จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าการปรับอากาศในที่ที่มีพื้นที่จำนวนมากๆ นั้นต้องใช้วิธีการปรับอากาศแบบซิลเลอร์ ซึ่งใช้น้ำเป็นสื่อความเย็น และระบายความร้อนด้วยน้ำ การปรับอากาศแบบนี้การลงทุนครั้งแรกจะสูงมาก แต่ค่าใช้จ่ายต่อครั้งจะถูกและประหยัดเมื่อเทียบกับปริมาณของพื้นที่ เรื่องที่จะศึกษา 1 แผนภูมิโมลลีย์ 2 ส่วนประกอบของเส้นและสเกลบนแผนภูมิโมลลีย์ 3 แผนภูมิไซโครเมตริก 4 การประยุกต์ทางปฏิบัติของแผนภูมิไซโครเมตริก จุดประสงค์การเรียนรู้ 1 อธิบายแผนภูมิโมลลีย์ได้ 2 อธิบายส่วนประกอบของเส้นและสเกลบนแผนภูมิโมลลีย์ได้ 3 อธิบายแผนภูมิไซโครเมตริกได้ 4 อธิบายการประยุกต์ทางปฏิบัติของแผนภูมิไซโครเมตริกได้ 5 ปฏิบัติงานออกแบบวงจรทางกลของแผงสาธิตตู้เย็นได้		

บทที่ 10

แผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิไซโครเมตริก หรือ เรียกกันทั่วไปว่า ไซโครเมตริกชาร์ท (Psychrometric chart) เป็นเครื่องมือที่ช่วยหาพลังงานที่ต้องการใช้ในการปรับอากาศและความชื้นในอากาศ และยังเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้อีกด้วย โดยการวัดค่า อุณหภูมิอากาศแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ ก่อนและหลังผ่านคอยล์เย็น (Evaporator) เพื่อนำไปหาค่า เอนทัลปี (Enthalpy) และปริมาตรจำเพาะของอากาศจากชาร์ท จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณร่วมกับค่าอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น สุดท้ายก็จะได้พลังงานที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ แล้วนำไปหารด้วยกำลังไฟฟ้า ก็จะได้ ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเรียกกย่อๆ ว่า EER (Energy Efficiency Ratio)

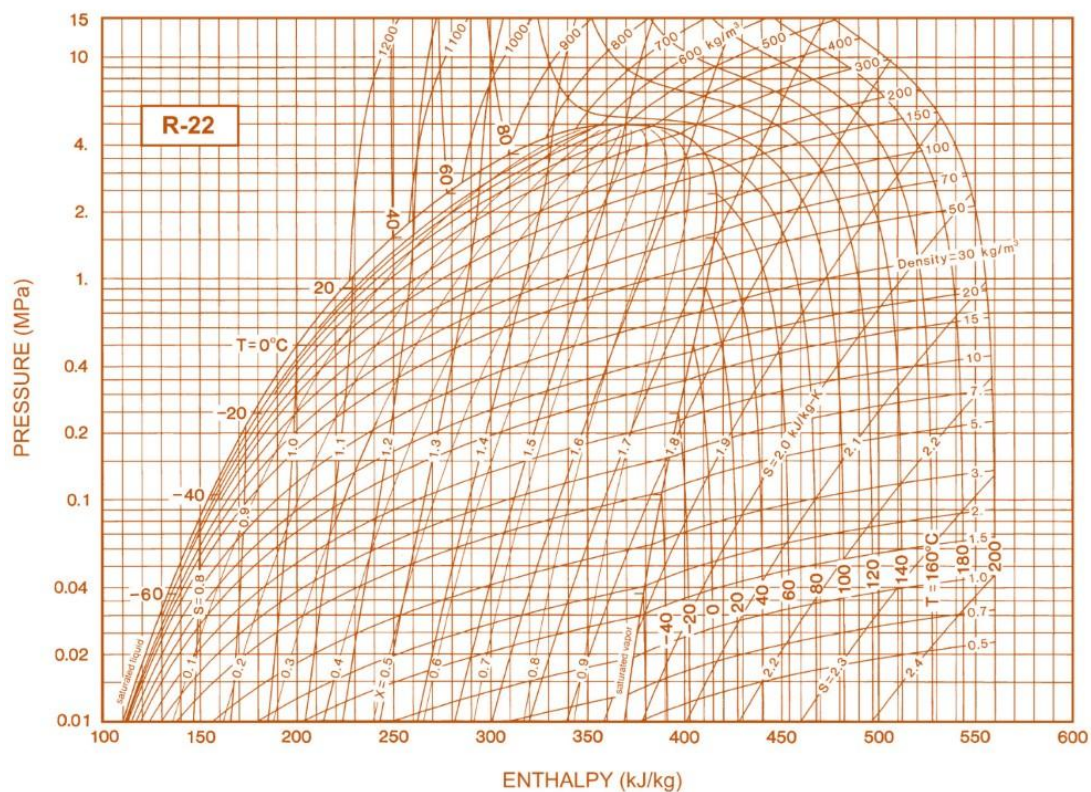
แผนภูมิไซโครเมตริก สามารถใช้ได้กับอากาศที่มีความดันเพียง 1 ค่าเท่านั้น ซึ่งถ้าความดันของอากาศเปลี่ยนไปค่าต่างๆ ในแผนภูมิก็จะเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งสามารถสังเกตค่าความดันของอากาศได้จากชาร์ทนั้นๆ ส่วนใหญ่ การตรวจวิเคราะห์พลังงานต่างๆ ไป มักใช้ชาร์ทที่ค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ (101.325 kPa)



รูปที่ 10-1 แผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิโมลลีย์ (Mollier diagram) หรือเรียกทั่วไปว่า p-h diagram เป็นเครื่องมือที่ช่วยหาพลังงานความร้อนของสารทำงานที่แลกเปลี่ยนผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบปรับอากาศ ประกอบด้วย คอยล์เย็น (Evaporator) เครื่องอัดไอ (Compressor) คอยล์ร้อน (Condenser) และวาล์วลดความดัน (Expansion valve) เพื่อทำการปรับอุณหภูมิและความชื้นตามที่ต้องการ และยังเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (COP: Coefficient of Performance) ได้อีกด้วย

ในระบบปรับอากาศ แผนภูมิโมลลีย์ ใช้หาประสิทธิภาพระบบทำความเย็นจากสารทำงานภายในระบบท่อนเป็นแบบระบบปิด แผนภูมิไซโครเมตริกใช้หาประสิทธิภาพระบบทำความเย็น จากอากาศที่ไหลผ่าน คอยล์เย็น เป็นแบบระบบเปิด



รูปที่ 10-2 แผนภูมิโมลลีย์

10.1 แผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) เป็นแผนภูมิที่บอกถึงรายละเอียดของอากาศที่สภาวะต่างๆ เช่น งานปรับอากาศและความเย็นคงจะรู้จักแผนภูมินี้ และการที่เราเข้าใจแผนภูมินี้จะทำให้เราเข้าใจถึงธรรมชาติและกระบวนการการเปลี่ยนแปลงของสภาวะของอากาศตลอดจนสามารถนำมาใช้งานและวิเคราะห์แก้ไขปัญหาในงานที่เกี่ยวข้องได้มากยิ่งขึ้น

เชื่อว่าทุกคนคงจะรู้จักอากาศ (Air) กันเป็นอย่างดี อากาศมีอยู่ทุกๆ ที่เราทุกคนใช้อากาศในการหายใจ อากาศเป็นตัวช่วยในการติดไฟของเชื้อเพลิงในการหุงต้มหรือในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรต่างๆ ในงานด้านวิศวกรรมและการผลิต อากาศถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการต่างๆ มากมาย ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่าง

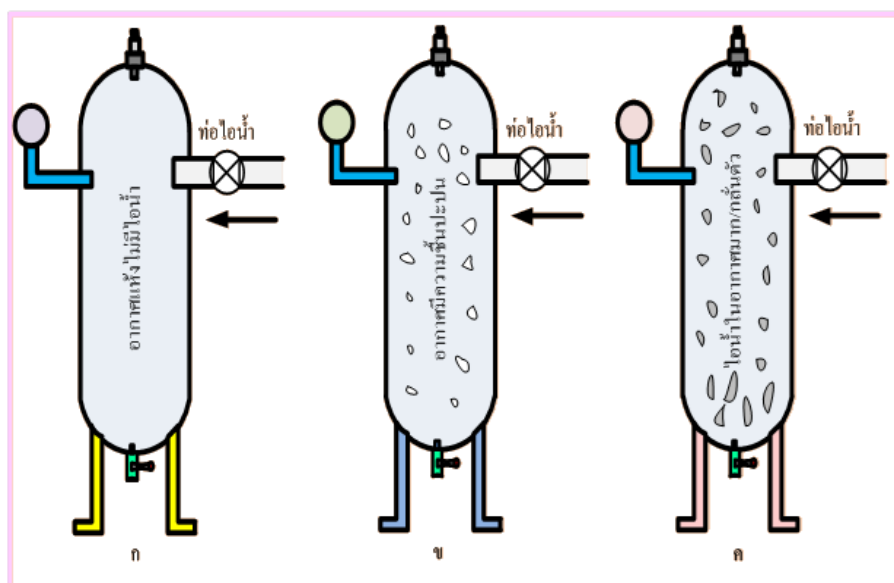
ยิ่งที่ผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านนี้จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติ รายละเอียดตลอดจนธรรมชาติของอากาศซึ่งถ้าเราจะอธิบายกันแบบลอยๆ นั้นก็ยากที่จะเข้าใจแผนภูมิ (Chart) หนึ่งที่จะนำมาอธิบายคุณสมบัติของอากาศได้ดีก็คือแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) ซึ่งในแผนภูมิดังกล่าวจะรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ของอากาศให้ง่ายต่อการเข้าใจในรายละเอียด

10.1.1 คุณสมบัติสำคัญของอากาศ

ในงานทางวิศวกรรม เช่น งานปรับอากาศหรือทำความเย็นนั้นคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศเป็นสิ่งที่มีความสำคัญกับสิ่งที่เราต้องการควบคุม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และอื่นๆ บทความต่อไปนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศเพื่อให้เป็นที่เข้าใจอย่างง่าย ๆ ดังนี้คือ

1) **ความชื้น (Humidity)** เราอาจได้ยินคำเหล่านี้มาบ้างแล้ว เช่น อากาศชื้น (Moist Air) หรืออากาศแห้ง (Dry Air) แต่บางทีเราอาจไม่เข้าใจว่าความหมายที่แท้จริงของคำเหล่านี้ว่ามันคืออะไร เรารู้อยู่แล้วว่าก่อนฝนตกอากาศจะร้อนอบอ้าวจนเรารู้สึกอึดอัด หรือในหน้าหนาวผิวหนังของเราจะแห้งจนแตกหรือผ้าที่เราตากไว้จะแห้งเร็วกว่าปกติต่างๆ ที่อุณหภูมิของอากาศต่ำ ทั้งหมดที่หยิบยกมาเป็นตัวอย่างเบื้องต้นนั้นเกี่ยวกับความชื้นทั้งสิ้น

ถ้าจะพูดให้เข้าใจกันแบบง่ายๆ ความชื้น (Moisture) คือ อัตราส่วนของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศต่อจำนวนอากาศที่อ้างอิง อากาศที่มีไอน้ำปะปนอยู่มากเราเรียกว่าอากาศชื้นหรืออากาศเปียก เช่นลมระบายความร้อนที่ออกมาจากคูลลิ่งทาวเวอร์ (Cooling Tower) หรืออากาศก่อนที่ฝนจะตกจะมีอัตราส่วนของไอน้ำที่ผสมอยู่ในอากาศมากจึงทำให้เรารู้สึกร้อนอบอ้าวและอึดอัดเพราะเมื่อปริมาณไอน้ำในอากาศมีมากจะส่งผลให้เหงื่อหรือน้ำที่ผิวหนังของเรานั้นระเหยตัวยากจึงทำให้เรารู้สึกร้อนอบอ้าว ดังที่กล่าวมาแล้วตั้งแต่ข้างต้นว่าความชื้นคือจำนวนไอน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศ จากรูปที่ 10-3 ถ้าเราเอาอากาศจำนวนหนึ่งมาจัดความชื้นออกให้หมดเราจะเรียกอากาศที่ไม่มีไอน้ำเจือปนอยู่ว่า “อากาศแห้ง (Dry Air)” ดังรูปที่ 10-3 จากนั้นถ้าเราค่อยๆ ปล่อยไอน้ำเข้าไปในอากาศดังกล่าวเรื่อยๆ



รูปที่ 10-3 แสดงลักษณะอากาศที่สภาวะต่าง ๆ

เมื่ออากาศมีไอน้ำผสมอยู่เราเรียกอากาศนั้นว่า “อากาศชื้น” ซึ่งหมายถึงอากาศที่มีไอน้ำปะปนอยู่ ซึ่งก็เหมือนกับอากาศในบรรยากาศบนโลกของเรานั้นเอง ในตอนแรกที่เรารับไอน้ำเข้าไปผสมปะปนกับอากาศนั้นปริมาณไอน้ำในอากาศจะมีน้อย อากาศจะสามารถรองรับไอน้ำจำนวนดังกล่าวไว้ได้ แต่เมื่อปริมาณไอน้ำเพิ่มไปถึงจุดหนึ่งที่อากาศไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำดังกล่าวไว้ได้ ไอน้ำส่วนที่เกินก็จะเริ่มกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ ซึ่งเราจะเรียกว่า “จุดอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศ” หรือเรียกอากาศที่จุดนี้ว่า “อากาศอิ่มตัว (Saturated Air)” ซึ่งก็คือสถานะที่อากาศไม่สามารถที่จะดูดซับไอน้ำไว้ในตัวมันได้อีกแล้ว ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) คือเส้นโค้งที่อยู่ทางด้านซ้ายของแผนภูมิไซโครเมตริก ดังรูปที่ 10-4

2) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio, ω) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศ (m_v) กับมวลของอากาศแห้ง (m_a) ที่ปริมาตรอากาศที่พิจารณา ดังสมการที่ 1

$$\omega = \frac{m_v (\text{kg}_{\text{vapor}})}{m_a (\text{kg}_{\text{dry-air}})} = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_a V / (R_a T)} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = \frac{0.622 P_v}{P_a} \dots\dots\dots (1)$$

$$\omega = \frac{0.622 P_v}{P_{\text{atm}} - P_v} \dots\dots\dots (2)$$

โดยที่ ω คือ อัตราส่วนความชื้น $\frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{kg}_{\text{dry-air}}}$

m_v คือ มวลของไอน้ำในอากาศ ณ จุดที่ทำการวัด, $\text{kg}_{\text{vapor}} / \text{kg}_{\text{Dry air}}$

m_a คือ จำนวนมวลของอากาศแห้ง, $\text{kg}_{\text{Dry air}}$

T คือ อุณหภูมิในสถานะที่พิจารณา, K

P_v คือ ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ, kN/m^2

P_a คือ ความดันย่อยของอากาศแห้ง, kN/m^2

R_v คือ ค่าคงที่ของไอน้ำ, 0.4615 kJ/kg.K

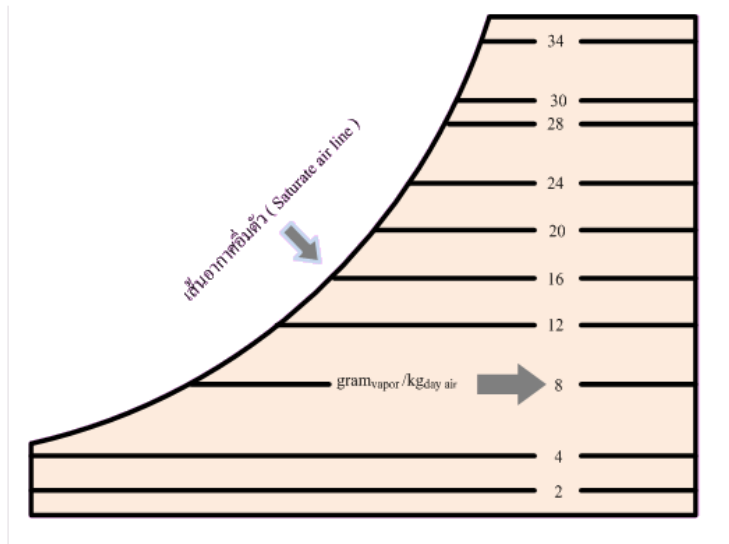
R_a คือ ค่าคงที่ของอากาศแห้ง, 0.2870 kJ/kg.K

V คือ ปริมาตรอากาศ, m^3

P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ, $\text{kN/m}^2 (P_a + P_v)$

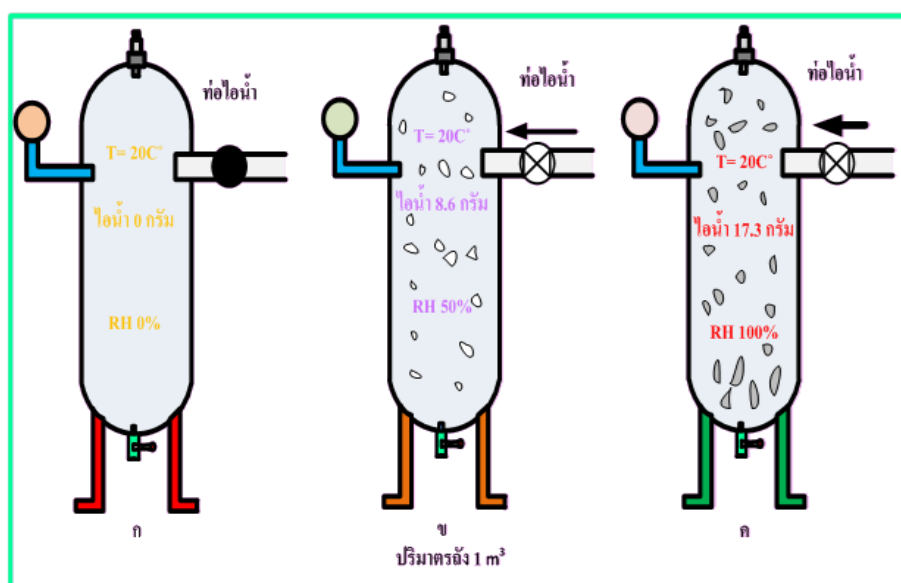
เช่น สถานะหนึ่งมีไอน้ำอยู่ในอากาศ 8 กรัมต่อปริมาตรอากาศ 1 m^3 โดยที่น้ำหนักของอากาศแห้ง (ไม่รวมน้ำหนักไอน้ำ) ตรงจุดนั้นเท่ากับ 0.88 kg/m^3 ดังนั้นอัตราส่วนความชื้นที่สถานะดังกล่าวจะเท่ากับ $1/0.88 = 9.1 \text{ g}_{\text{vapor}} / \text{kg}_{\text{Dry Air}}$

ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio Line) เป็นเส้นที่ลากจากเส้นไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Vapor) จากด้านซ้ายมือไปยังด้านขวามือดังรูปที่ 10-4 โดยที่ค่าอัตราส่วนความชื้นด้านล่างจะน้อยเพราะอุณหภูมิต่ำส่วนที่อุณหภูมิสูงอัตราส่วนความชื้นก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราส่วนความชื้นที่ปรากฏในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นอัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศเป็นกรัมต่อมวลอากาศแห้งเป็นกิโลกรัม ($\text{g}_{\text{vapor}} / \text{kg}_{\text{Dry Air}}$)

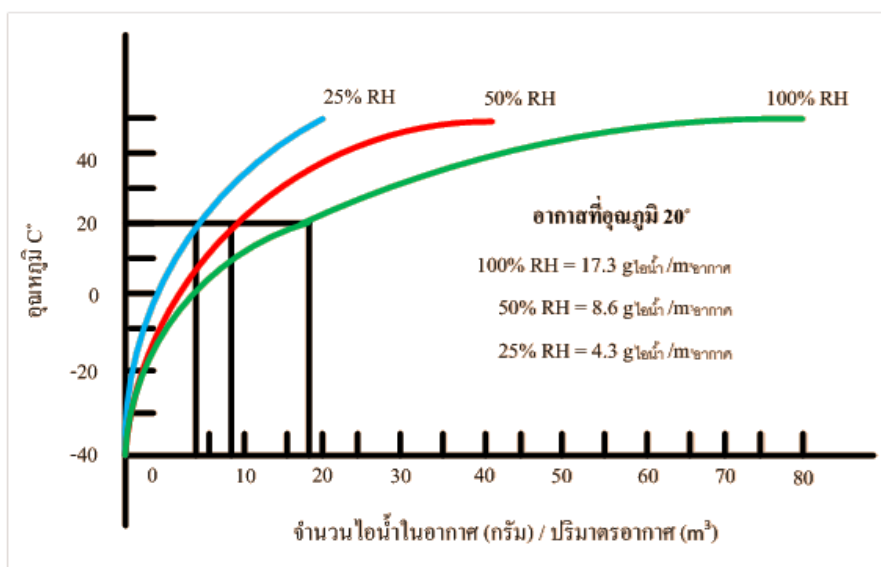


รูปที่ 10-4 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio Line)

3) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity or RH, ϕ) คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนมวลของไอน้ำในอากาศต่อจำนวนมวลของไอน้ำอิ่มตัวในสภาวะที่พิจารณา เพื่อความเข้าใจให้พิจารณา รูปที่ 10-5 เป็นถังที่มีปริมาตร 1 m^3 บรรจุอากาศแห้ง อุณหภูมิอากาศภายในถัง 20°C ที่ความดันบรรยากาศในถังไม่มีไอน้ำปะปนอยู่ในอากาศ ดังนั้นถังนี้จึงมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาเราเปิดวาล์วและค่อยๆ ปล่อยไอน้ำเข้าไปในถังเรื่อยๆ ถึงตอนหนึ่งในถังก็จะมีไอน้ำผสมอยู่ อากาศในถังก็จะเป็นอากาศชื้นดังรูปที่ 10-5 และเมื่อเรายังคงปล่อยไอน้ำเข้าไปเรื่อยๆ จนปริมาณไอน้ำที่ผสมอยู่ในอากาศมากจนอากาศไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำไว้ได้ ไอน้ำส่วนเกินเหล่านั้นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำอยู่ที่ก้นถังดังรูปที่ 10-5 ปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะรับไว้ได้นี้ก็จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ ยิ่งอากาศมีอุณหภูมิสูง จำนวนไอน้ำที่อากาศสามารถอุ้มไว้ได้ก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย



รูปที่ 10-5 แสดงสภาวะต่าง ๆ ของไอน้ำในอากาศ



รูปที่ 10-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณไอน้ำในอากาศ

ตารางที่ 10-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

อุณหภูมิ °C (T)		5	10	15	20	25	30	35	40
จำนวนไอน้ำในอากาศ, กรัมต่ออากาศ 1 m ³ , (g/m ³)	RH100%	6.8	9.3	12.8	17.3	22.9	30.3	39.6	51.0
	RH50%	3.4	4.6	6.4	8.6	11.5	15.2	19.8	25.5
	RH25%	1.7	2.3	3.2	4.3	5.7	7.6	9.9	12.8
*ข้อมูลในตารางเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนในบางค่า									

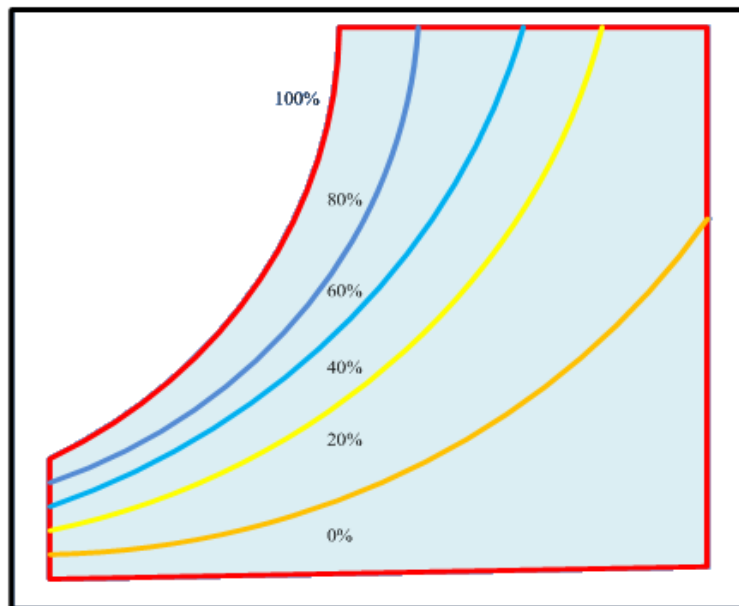
จากตารางที่ 10-1 แสดงปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 °C ความดันบรรยากาศ อากาศสามารถรองรับไอน้ำไว้ได้สูงสุดเป็นจำนวน 17.3 กรัมต่อปริมาตรอากาศ 1 m³ ซึ่งจุดนี้เองคือจุดที่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% (100% RH) จากข้างต้นทำให้เราเข้าใจแล้วว่าจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% คือจุดที่มีปริมาณไอน้ำในอากาศจำนวนมากที่สุดที่อากาศสามารถรองรับไว้ได้ ดังนั้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ อุณหภูมิที่นำมาพิจารณาก็คือจะพิจารณาปริมาณไอน้ำในอากาศที่ 100% ของอุณหภูมินั้น ๆ เปรียบเทียบกับปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริง ณ อุณหภูมินั้นๆ เช่นที่อุณหภูมิ 20 °C อากาศสามารถรองรับไอน้ำไว้ได้สูงสุด 17.3 g_{vapor} / m³_{Dry Air} ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ก็จะมีปริมาณไอน้ำเป็นครึ่งหนึ่งคือ (17.3/2) = 8.65 g_{vapor} / m³_{Dry Air} และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 25% ปริมาณไอน้ำในอากาศก็จะมีอยู่ (17.3/4) = 4.325 g_{vapor} / m³_{Dry Air} ซึ่งนอกจากนั้นเราสามารถที่จะหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้จากสมการ

$$\omega = 0.622 \phi P_s / (P_{atm} - P_s) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\phi = P_v / P_s = \omega P_{atm} / (P_s (0.622 + \omega)) \quad \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ ϕ คือ ความชื้นสัมพัทธ์, %
 P_s คือ ความดันอิ่มตัวของไอน้ำ ณ อุณหภูมินั้น, kN/m²

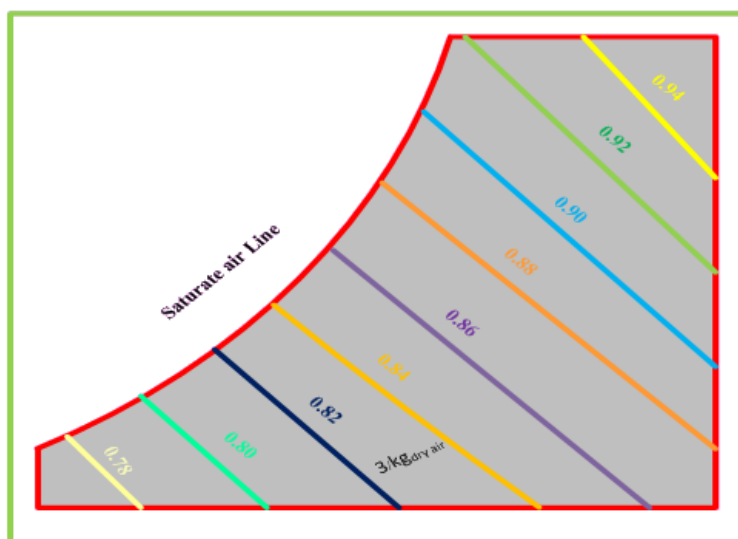
เส้นแสดงความชื้นสัมพัทธ์ในไซโครเมตริกชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 10-7 โดยเส้นแรกทางขวามือสุดหรือเส้นที่อยู่ด้านนอกคือเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% นั้นจะเป็นเส้นเดียวกับเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) หรือจุดที่อากาศสามารถรองรับปริมาณไอน้ำได้สูงสุดที่อุณหภูมิต่างๆ ถัดมาจากเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% ค่าความชื้นสัมพัทธ์ก็จะลดต่ำลงมาเรื่อยๆ อากาศที่มีปริมาณความชื้นอยู่เท่าๆ กันแต่เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังรูป



รูปที่ 10-7 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity Line)

4) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume, v) ปริมาตรจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตร (Volume) ต่อมวล (Mass) ของอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม (m^3/kg) ในระบบ SI เป็นที่ทราบกันดีว่าอากาศมีคุณสมบัติในการขยายตัวตามอุณหภูมิที่ความดันคงที่ (Constant Pressure) ในสภาวะความดันคงที่ถ้าอุณหภูมิของอากาศจะมีปริมาตรจำเพาะน้อยหมายถึงน้ำหนักอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะมากในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวออกทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศของอากาศมากขึ้น ซึ่งก็คือน้ำหนักของอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะลดลงหรืออากาศเบาขึ้นนั่นเอง

ตัวอย่างเช่น อากาศที่ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 15°C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% จะมีปริมาตรจำเพาะเท่ากับ $0.825 \text{ m}^3/\text{kg}$ ($1.21 \text{ kg}/\text{m}^3$) แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปเป็น 25°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60% เท่าเดิม ปริมาตรจำเพาะของอากาศจะเท่ากับ $0.861 \text{ m}^3/\text{kg}$ ($1.16 \text{ kg}/\text{m}^3$) จะเห็นว่าอุณหภูมิเปลี่ยนไป 10°C แต่ปริมาตรจำเพาะอากาศเปลี่ยนไป 4.4% ในการคำนวณเราจะสามารถใช้ค่าปริมาตรจำเพาะสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (G) หรืออัตราการไหลเชิงมวล (m) ของอากาศสำหรับเส้นแสดงปริมาตรจำเพาะที่อยู่ในไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะเป็นเส้นทแยงจากซ้ายไปขวา โดยเส้นที่อยู่ด้านล่างจะมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปสู่ด้านบนดังรูปที่ 10-8



รูปที่ 10-8 แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

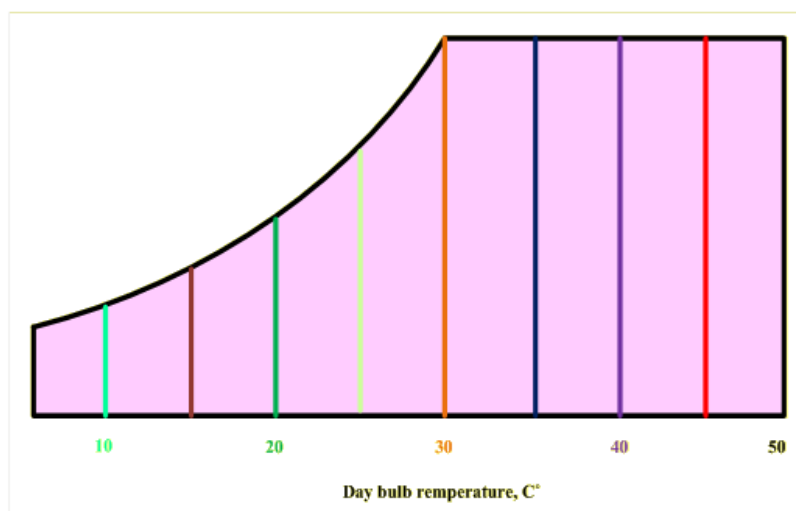
สำหรับการหาปริมาตรจำเพาะโดยการคำนวณนั้นสามารถทำได้ดังสมการ

$$v = \frac{R_a T}{P_a} = \frac{R_a T}{P_{atm} - P_v} \dots\dots\dots(5)$$

- โดยที่ R_a คือ ค่าคงที่ของอากาศแห้ง, $0.2870 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$
 T คือ อุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K
 P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ, kN/m^2 ($P_a + P_v$)
 P_v คือ แรกดันย่อยของไอน้ำ, kN/m^2
 P_a คือ แรกดันย่อยของอากาศแห้ง, kN/m^2

5) อุณหภูมิ (Temperature) เมื่อพูดถึงอุณหภูมิเราจะนึกถึงความร้อนและความเย็นของอากาศ เรารู้ว่าในห้องปรับอากาศจะมีความเย็นกว่ากลางแจ้งในหน้าร้อน ในห้องแช่แข็งของตู้เย็นจะเย็นกว่าในห้องปรับอากาศ อุณหภูมินอกจากจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความร้อนหรือเย็นแล้วยังเป็นตัวที่บ่งบอกถึงระดับพลังงานที่มีอยู่ในอากาศ อากาศที่ร้อนย่อมจะมีพลังงานอยู่ในตัวเองมากกว่าอากาศที่เย็น อุณหภูมิของอากาศแบ่งออกเป็นสองชนิดซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างแยกไม่ออกซึ่งก็คือ

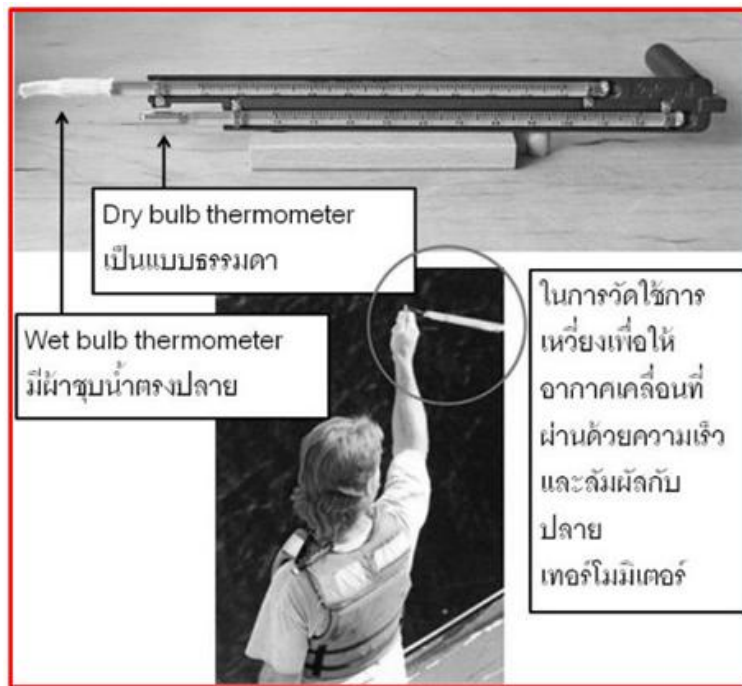
5.1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, Tdb) คืออุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา เช่น เราอยากทราบว่าตอนนี้อุณหภูมิเท่าไรเราก็อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่ที่ฝาผนัง ค่าอุณหภูมิดังกล่าวคืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นตามแนวตั้งอยู่ในแผนภูมิโดยค่าจะเรียงตั้งแต่น้อยไปหามากจากซ้ายมือไปยังขวามือ ดังรูปที่ 10-9



รูปที่ 10-9 แสดงเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก

5.2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, Twb) ก่อนที่เราจะมาพูดกันต่อเรื่องอุณหภูมิกระเปาะเปียกกัน อยากให้เราจำไว้กับคำว่ากระเปาะกันก่อน ซึ่งกระเปาะ (Bulb) ก็คือส่วนปลายที่ใช้รับอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทที่เราใช้หยั่งไปยังจุดที่ต้องการวัด ในตอนแรกทีกล่าวถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งซึ่งก็คือในตอนที่เราทำการวัดนั้นกระเปาะรับอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์จะต้องแห้งจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จึงเป็นอุณหภูมิแวดล้อมที่อยู่รอบๆ เทอร์โมมิเตอร์ตัวนั้น ดังรูปด้านบนของรูปที่ 10-10

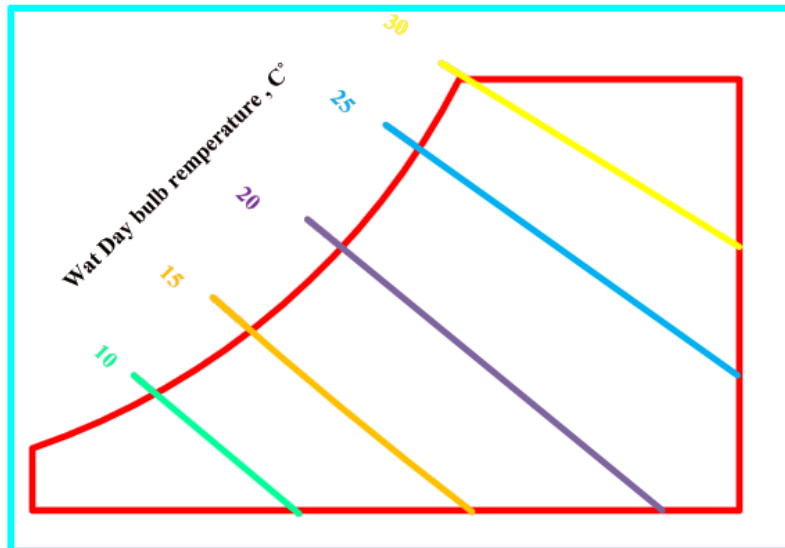
สำหรับการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้นในการวัดก็ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเดียวกับที่วัดแบบกระเปาะแห้ง แต่ที่กระเปาะปลายเทอร์โมมิเตอร์จะเอาผ้าชุบน้ำพอมุ่มๆ พันกระเปาะเอาไว้และในตอนวัดก่อนที่จะอ่านก็ต้องทำให้ปลายกระเปาะเปียกดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วๆ หนึ่ง โดยปกติในการวัดจะใช้เชือกผูกและเหวี่ยงตัวเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกดังกล่าวให้เคลื่อนที่สักพักหนึ่งแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าถ้าความชื้นในอากาศขณะที่ทำการวัดน้อยเวลาที่เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกเคลื่อนที่ผ่านอากาศก็จะทำให้ความชื้นที่อยู่ที่ผ้าชุบน้ำดังกล่าวระเหยได้ง่ายเพราะความชื้นในอากาศมีน้อย



รูปที่ 10-10 แสดงเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้งและแบบกระเปาะเปียก เมื่อรวมกันจะเรียก Sling Psychrometer

ในกระบวนการการระเหยของความชื้นของผ้าชุบน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกนั้นจะดูดความร้อนรอบๆ ตัวกระเปาะมาทำให้ความชื้นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หรืออุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในกรณีที่ในอากาศมีความชื้นอยู่มาก ความชื้นที่ผ้าที่หุ้มกระเปาะไว้จะระเหยได้ยากดังนั้นความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวก็จะน้อยส่งผลให้ค่าที่วัดได้จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

ดังที่กล่าวข้างต้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศในจุดที่ทำการวัด ถ้าความชื้นในอากาศน้อยความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมาก และถ้าความชื้นในอากาศมากความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้จะน้อย และอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับกระเปาะเปียกจะเท่ากันที่เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Temperature) หรือจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% สำหรับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่อยู่ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะเป็นดังรูปที่ 10-11 โดยจะเอียงทแยงจากซ้ายไปขวาและค่าจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา



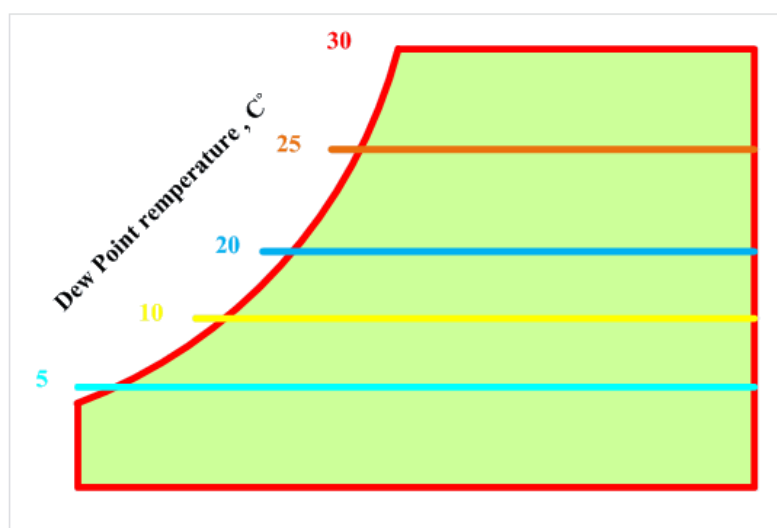
รูปที่ 10-11 แสดงเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก

5.3) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) คือ “อุณหภูมิที่ความชื้นในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศถูกลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่” หรืออีกนัยยะหนึ่งก็คือ อุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับความดันของไอน้ำดังสมการ

$$T_{dp} = T_{sat@P_v} \dots\dots\dots (5)$$

โดยที่ P_v คือ แรงดันย่อยของไอน้ำที่อุณหภูมิจุดไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิที่อ้างอิง, kN/m^2

เพื่อให้เรานึกภาพของอุณหภูมิหยดน้ำค้างออกให้เรานึกถึงหยดน้ำที่เกาะอยู่ด้านข้างของแก้วน้ำเย็น หรือหยดน้ำค้างที่เกาะอยู่ตามยอดหญ้าในตอนเช้าของฤดูร้อน ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นได้ก็เนื่องจากการที่อากาศที่มีความชื้นสูงถูกลดอุณหภูมิลง ทำให้ความสามารถในการรองรับความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิต่ำลดลง ดังนั้นปริมาณความชื้นในอากาศที่เกินจากความสามารถในการรองรับของอากาศที่อุณหภูมิต่ำลง จึงกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ



รูปที่ 10-12 แสดงการหาจุดน้ำค้างที่สภาวะที่กำหนด

ตัวอย่าง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิหยดน้ำค้าง

(ตารางที่ 10-2 ประกอบ) ในฤดูร้อนวันหนึ่งอากาศมีอุณหภูมิ 35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% ในอากาศมีไอน้ำปะปนอยู่ที่ 23.8 กรัม/อากาศ 1 m³ เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงตอนเช้าอุณหภูมิลดลงเหลือ 20 °C ซึ่งที่อุณหภูมินี้เราจะเห็นว่าอากาศสามารถที่จะรองรับไอน้ำได้สูงสุด (RH 100%) เพียง 17.3 กรัม/อากาศ 1 m³ ดังนั้นไอน้ำจำนวน (23.8-17.3) = 6.5 กรัม/อากาศ 1 m³ จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำเกาะอยู่ตามยอดหญ้าหรือวัตถุที่มีอุณหภูมิเดียวกับอากาศบริเวณนั้น จากหลักการนี้เรายังสามารถประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ลดความชื้นหลายชนิดในงานอุตสาหกรรม อุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่จุดต่างๆ สามารถหาได้ในไซโครเมตริก โดยลากเส้นจากจุดนั้นขนานไปกับเส้นปริมาตรจำเพาะไปทางขวามือไปชนกับเส้นอากาศอิ่มตัว

ตารางที่ 10-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิหยดน้ำค้าง (ข้อมูลในตารางเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนในบางค่า)

จำนวนไอน้ำในอากาศ, กรัมต่ออากาศ 1m ³ , (g/m ³)				อุณหภูมิ, C° (Tdb)
RH25% T _{dew point} , C°	RH50% T _{dew point} , C°	RH60% T _{dew point} , C°	RH100% T _{dew point} , C°	
1.7	3.4	4.0	6.8	5
-12 C°	- 4.6 C°	-1.8 C°	5.0 C°	10
2.3	4.6	5.6	9.3	15
-8.4 C°	0.2 C°	2.6 C°	9.9 C°	20
3.2	6.4	7.7	12.8	25
-4.4 C°	4.7 C°	7.3 C°	14.9 C°	30
4.3	8.6	10.4	17.3	35
- 0.4 C°	9.3 C°	12.0 C°	20.0 C°	
5.7	11.5	13.7	22.9	
3.7 C°	13.8 C°	16.7 C°	25.0 C°	
7.6	15.2	18.2	30.3	
7.9 C°	18.4 C°	21.4 C°	30.0 C°	
9.9	19.8	23.8	39.6	
12.0 C°	23.0 C°	26.0 C°	35.0 C°	

6) เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line, Air saturation line) เป็นเส้นที่อยู่ในแนวเดียวกับเส้นความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกสุดซ้ายมือในแผนภูมิไซโครเมตริกหรือเป็นเส้นปิดแผนภูมิไซโครเมตริกทางด้านซ้ายมือจริงๆ แล้วเส้นอากาศอิ่มตัวก็คือเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% (100 %RH) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ว่าจุดอากาศอิ่มตัวก็คือจุดที่อากาศ ณ อุณหภูมินั้นๆ สามารถรองรับไอน้ำไ้ได้มากที่สุดสำหรับจำนวนไอน้ำที่อากาศสามารถรับไ้ได้มากที่สุดที่อุณหภูมิต่างๆ นั้นดังแสดงในช่องความชื้นสัมพัทธ์ 100 % (100%RH) ในตารางที่ 10-1 และ 10-2

7) เอนทาลปี (Enthalpy) ในทางเทอร์โมไดนามิกค่าเอนทาลปี (Enthalpy) คือค่าที่เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับพลังงานของของไหลซึ่งรวมถึงอากาศด้วย ซึ่งเป็นค่าพลังงานภายในของของไหลบวกกับพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตร (PV) ของของไหลดังสมการ

$$h = u + pv \dots\dots\dots (6)$$

โดยที่ h คือ เอนทาลปี, Jule/kg

u คือ พลังงานภายใน, Jule/kg

pv คือ ความสัมพันธ์ของความดันและปริมาตร $\left(\frac{N}{m^2} m^3\right)$, Jule

สำหรับค่าเอนทาลปีเราสามารถเปิดได้จากตารางไอน้ำอิ่มตัวในตำราเทอร์โมไดนามิกต่างๆ ได้ ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสามอย่างข้างต้นมักจะรวมอยู่ในรูป $u + pv$ ดังนั้นเพื่อเป็นความสะดวกในการคำนวณเราจึงให้คำจำกัดความเรียกผลรวมของความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสามตัวว่าเอนทาลปี (Enthalpy, h) โดยที่ถ้าเป็นเอนทาลปีต่อหน่วยมวลเราจะเรียกว่าเอนทาลปีจำเพาะมีหน่วยเป็นพลังงานต่อมวล เช่น kJ/kg สำหรับของไหลที่ความดันบรรยากาศค่าเอนทาลปีจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิโดยที่ถ้าอุณหภูมิมากค่าเอนทาลปีจะมากตามไปด้วย เช่น อากาศที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าเอนทาลปีมากกว่าอากาศที่อุณหภูมิต่ำ เช่นถ้าเราต้องการที่จะลดอุณหภูมิอากาศจากอุณหภูมิ 40 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งให้เหลือ 20 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งเราก็เอาค่าเอนทาลปีของจุดแรกไปลบเอนทาลปีที่จุดหลังเราก็สามารถคำนวณภาระทางความร้อนของกระบวนการลดอุณหภูมิในกระบวนการดังกล่าวได้ การหาค่าเอนทาลปีของอากาศแห้งและอากาศชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = C_p T + \omega h_g \dots\dots\dots (7)$$

โดยที่ h คือ เอนทาลปี, Jule/kg

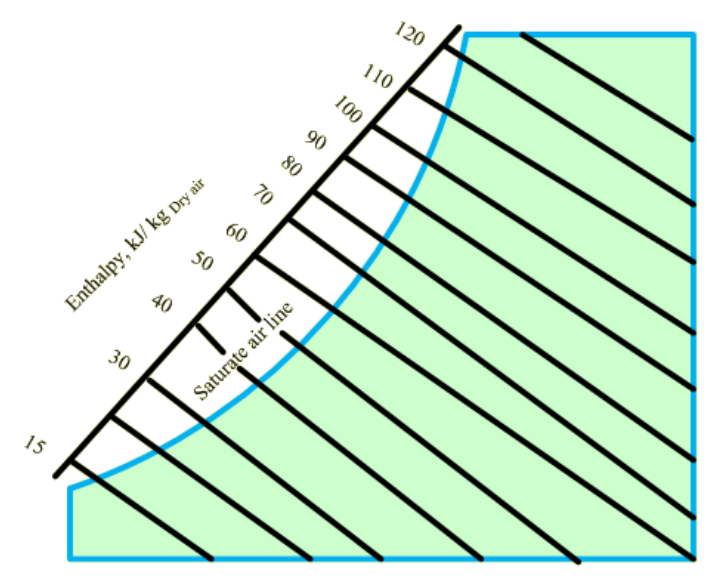
C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, kJ/kg-K

T คือ อุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K

ω คือ อัตราส่วนความชื้น , ไม่มีหน่วย

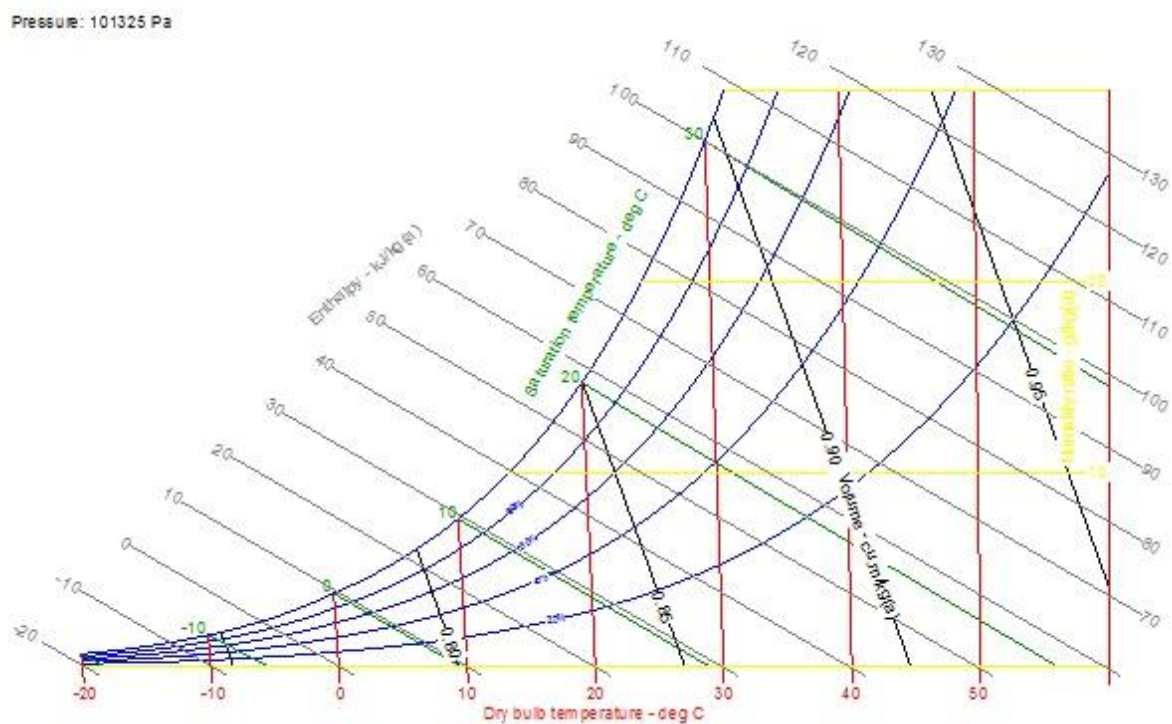
h_g คือ ค่าเอนทาลปีของไออิ่มตัว, kJ/kg

เส้นแสดงระดับค่าเอนทาลปีในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะอยู่ด้านซ้ายมือหรือด้านหน้าของเส้นอากาศอิ่มตัวรูปที่ 10-13 โดยที่ค่าเอนทาลปีจะเพิ่มจากน้อยไปหามากตามระดับของอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นตามทิศทางของลูกศรที่แสดงในรูป สำหรับการหาค่าเอนทาลปีที่จุดต่างๆ ตามสภาวะอากาศหลังจากที่เราพล็อตจุดในไซโครเมตริกชาร์ทได้แล้วเราก็ลากเส้นตรงในแนวระนาบมาตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวทางซ้ายมือและเอาค่าที่จุดตัดนั้นมาดูว่าตรงกับค่าเอนทาลปีเท่าใด



รูปที่ 10-13 แสดงเส้นแสดงค่าเอนทาลปี

10.2 ตัวแปรบนแผนภูมิไซโครเมตริก



รูปที่ 10-14 ตัวแปรบนแผนภูมิไซโครเมตริก

10.2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, deg C)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, T_{db}): อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ (เทอร์โมมิเตอร์) ทั่วไป เช่น การวัดอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยา การวัดอุณหภูมิร่างกายทางการแพทย์ เป็นต้น อุณหภูมิเหล่านี้ทางอุณหพลศาสตร์เรียกว่า “อุณหภูมิกระเปาะแห้ง” คือ เส้นตามแนวตั้งในแผนภูมิไซโครเมตริก

10.2.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, deg C)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, T_{wb}): อุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบเดียวกันกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง แต่ต่างกันที่ต้องทำให้บรรยากาศรอบๆ เทอร์โมมิเตอร์มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100 % อุณหภูมิที่อ่านได้จึงจะเรียกว่า “อุณหภูมิกระเปาะเปียก” ซึ่งวิธีการวัดมีหลากหลายวิธี เช่น เอาผ้าชุบน้ำพอมุ่มๆ พันไว้ ที่จุดวัดอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ แล้วรอสักพักให้น้ำที่ผ้าระเหยออกมาจนทำให้บริเวณรอบๆ เกิดความชื้นอิ่มตัว ก็จะสามารถอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกได้ หรือในปัจจุบันนิยมวัดด้วยหัววัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่า

10.2.3 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio, g/kg dry air)

อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio, ω): มวลของไอน้ำ (น้ำในสถานะก๊าซ) ในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง

10.2.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, %)

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH): อัตราส่วนของความชื้นจริงในอากาศขณะที่กำลังวัดต่อความชื้นสูงสุดที่สามารถทำให้เกิดความชื้นอิ่มตัวได้

10.2.5 เอนทาลปี (Enthalpy, kJ/kg dry air)

เอนทาลปี (Enthalpy, h): ค่าพลังงานของอากาศต่อมวลอากาศแห้ง 1 หน่วย

10.2.6 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume of air, cu.m./kg dry air)

ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume of air, v): อัตราส่วนของปริมาตรอากาศต่อมวลอากาศแห้ง

10.3 คำอธิบายแผนภูมิไซโครเมตริก

ค่าหลักในแผนภูมิ ประกอบด้วย อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature) ถูกแสดงไว้บนแกนนอน (ค่าแสดงด้วยเส้นสีแดง) ค่าอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ถูกแสดงไว้บนแกนตั้ง (ค่าแสดงด้วยเส้นสีเหลือง) ที่ส่วนปลายด้านซ้ายของแผนภูมิ เราจะเห็นเส้นโค้งที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% ซึ่งเรียกว่า เส้นอุณหภูมิอิ่มตัว (Saturation temperature line) ส่วนเส้นโค้งที่ค่าคงที่ของความชื้นสัมพัทธ์อื่นๆ ก็ได้แสดงในรูปร่างที่คล้ายคลึงกัน (ดังเส้นสีน้ำเงิน) เส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ (Wet-bulb temperature) จะมีลักษณะเฉียงลงมาจากขวามือ (ค่าแสดงด้วยเส้นสีเขียว) และเส้นปริมาตรจำเพาะของอากาศคงที่ที่จะดูคล้ายคลึงกันกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกแต่จะมีความชันที่มากกว่า (ค่าแสดงด้วยเส้นสีดำ) ส่วนเส้นของค่าเอนทาลปี

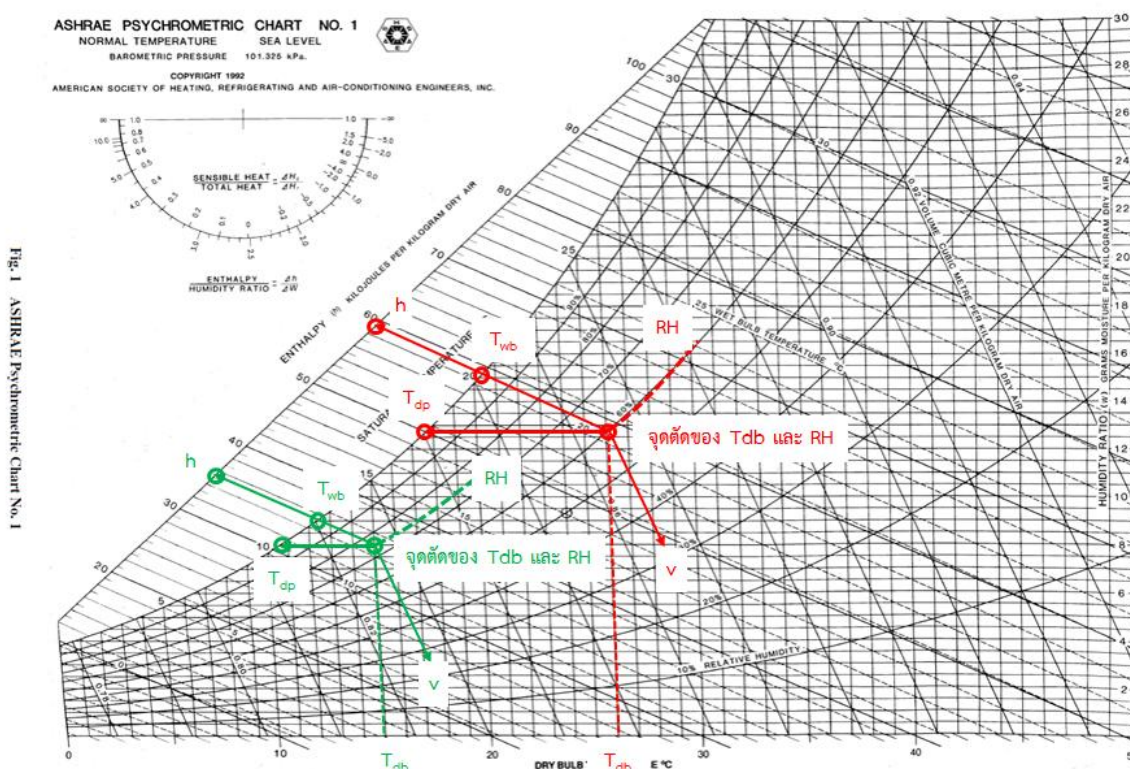
คงที่ จะเกือบที่จะขนานกับเส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ (ค่าแสดงดังเส้นสีเทา) ซึ่งในรูปที่แสดงเป็นหน่วยในระบบ Metric (SI) แต่ยังมีหน่วยที่นิยมใช้ในระบบปรับอากาศอีกหน่วย ได้แก่ ระบบ English (I-P)

สำหรับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-point temperature) สามารถหาได้โดยลากเส้นแนวนอนจากจุดตัดระหว่าง ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ หรือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกไปยังเส้นอุณหภูมิอมิตัว ค่าอุณหภูมิที่จุดบนเส้นนี้ คือ ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกจะเท่ากัน)

สำหรับการอ่านค่าจากชาร์ท ค่าที่ได้จะเป็นค่าประมาณ ไม่ได้แม่นยำ 100 % เนื่องจากอาจมีความผิดพลาดในตำแหน่งของทศนิยม ซึ่งสมัยก่อนมีความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานหน้างานมาก แต่ปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปที่เปิดจาก คอมพิวเตอร์แบบพกพาได้ จึงทำให้ง่ายและแม่นยำกว่าการเปิดชาร์ท

ตัวอย่าง การอ่านค่าต่างๆ จากแผนภูมิไซโครเมตริก

โจทย์ จากการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่บริเวณทางเข้า Evaporator (Return air) วัดอุณหภูมิ (Tdb) ได้ 26 °C ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 60% และที่บริเวณทางออกของ Evaporator (Supply air) วัดอุณหภูมิ (Tdb) ได้ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 75% บริเวณที่วัดมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ จากแผนภูมิไซโครเมตริกที่ให้อ้างหาสมบัติของอากาศที่จุด Return air และ Supply air ดังนี้ อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาตรจำเพาะของอากาศ และเอนทาลปี



รูปที่ 10-15 การลากเส้นเพื่อหาคำตอบบนแผนภูมิไซโครเมตริก

วิธีทำ จากแผนภูมิสรูปค่าที่ต้องการหาได้ดังนี้

สมบัติของอากาศ	Return air	Supply air	หน่วย
1. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Twb)	20.4	12.5	°C
2. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Tdp)	17.7	10.7	°C
3. ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (v)	0.864	0.826	m ³ /kg dry air
4. เอนทาลปี (h)	59.0	35.0	m ³ /kg dry air

10.4 แผนภูมิไซโครเมตริกกับพลังงานในระบบปรับอากาศ

ประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศ ที่ใช้แผนภูมิไซโครเมตริกในการหา คือ EER ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$EER = \frac{BTU/hr}{Watt} = \frac{\dot{m}_{dry\ air} \times (h_r - h_s)}{Watt} \dots\dots\dots (8)$$

เมื่อ BTU/hr คือ ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ใน 1 ชั่วโมง หรือ ปริมาณมวลอากาศแห้งที่ไหลผ่านคอยล์เย็นภายใน 1 ชม. คูณกับ ผลต่างระหว่าง เอนทาลปีของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็น (h_r ของ Return air) กับ เอนทาลปีของอากาศหลังออกจากคอยล์เย็น (h_s ของ Supply air)
Watt คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้

กรณีคอยล์เย็นสกปรก

- เมื่อแผงคอยล์เย็นสกปรก จะทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง เนื่องจากสิ่งสกปรกจะทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับคอยล์เย็นแย่ลง ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิขาออกจากคอยล์เย็นมีค่าสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ (คอยล์เย็นสะอาด) เมื่อดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก อุณหภูมิสูงขึ้นค่าเอนทาลปีของอากาศก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ผลต่างของเอนทาลปีขาเข้าและเอนทาลปีขาออกจากคอยล์เย็น ($h_r - h_s$) ลดลง นั่นคือ สาเหตุของการทำให้ประสิทธิภาพลดลง
- เมื่อ แผ่นกรองอากาศสกปรก หรือ ฟिलเตอร์สกปรก จะทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงด้วยเหมือนกัน เนื่องจากสิ่งสกปรกจะบังไม่ให้อากาศผ่านเข้าคอยล์เย็นได้เท่ากับสภาวะปกติ ทำให้ปริมาณอากาศ ($\dot{m}_{dry\ air}$) ลดลง ส่งผลให้ค่า BTU/hr ลดลง นั่นคือ สาเหตุของการทำให้ประสิทธิภาพลดลงอีกสาเหตุหนึ่ง



รูปที่ 10-16 การทำความสะอาดฟیلเตอร์กรองอากาศหรือแผงคอยล์เย็น

10.5 การประยุกต์ทางปฏิบัติของแผนภูมิไซโครเมตริก

ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้เรามองการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นและสามารถนำมาคิดคำนวณหาพลังงานและทำให้เรารู้ค่าตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องใช้สูตรในการคำนวณให้ยุ่งยากโดยที่กระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นเราสามารถพิจารณาด้วยไซโครเมตริกชาร์ตได้ดังนี้

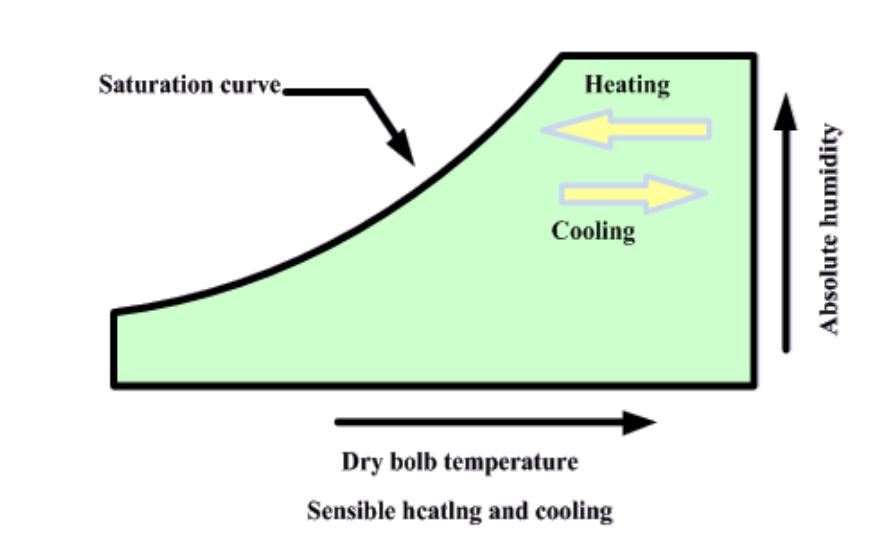
10.5.1 กระบวนการเพิ่มและลดความร้อน (Heating and Cooling Process)

1) กระบวนการเพิ่มความร้อน (Heating Process)

กระบวนการเพิ่มความร้อน คือกระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการหรือจากการเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง ความร้อนของอากาศจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่สถานะความดันคงที่ ตัวอย่างเมื่อเราให้ความร้อนกับอากาศที่ความดันคงที่ อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศเพิ่มขึ้นหรืออากาศมีน้ำหนักเบาขึ้นเพราะอากาศเกิดการขยายตัว ในขณะที่ไอน้ำในอากาศมีเท่าเดิม และค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเพราะอากาศสามารถรองรับไอน้ำที่ปะปนอยู่ได้เพิ่มขึ้น สำหรับกระบวนการนี้ส่วนใหญ่ก็จะเป็นกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นกับวัสดุหรือพืชผลทางการเกษตรต่างๆ สำหรับความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้จะมีความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) หรือความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของกระบวนการให้ความร้อน (Heating) ในไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะเป็นเส้นในแนวนานกับแกนอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Tdb) ในทิศทางห่างออกไปจากเส้นอากาศอิ่มตัวดังรูปที่ 10-17

2) กระบวนการลดความร้อน (Cooling Process)

คือกระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการนั้นอุณหภูมิของอากาศจะลดลงที่ความดันคงที่ เช่น ในระบบการปรับอากาศ เมื่อเราเริ่มต้นเปิดเครื่องปรับอากาศก็จะทำให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศค่อยๆ ลดลงที่ความดันคงที่ และผลจากกระบวนการนี้ก็จะทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศจะลดลง หรืออากาศมีความหนาแน่นขึ้นและจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากขึ้นตามไปด้วย

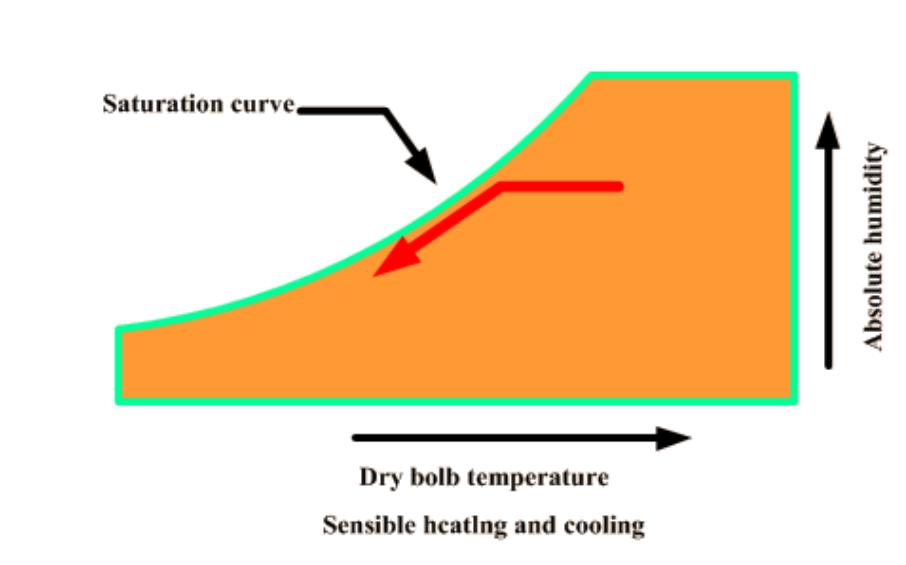


รูปที่ 10-17 แสดงทิศทางของการลดและเพิ่มอุณหภูมิ

ดังนั้นในกระบวนการปรับอากาศของพื้นที่ปรับอากาศจึงจะต้องมีกระบวนการลดความชื้นตามไปด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลัง เมื่อเราพิจารณาในแผนภูมิไซโครเมตริกเราจะเห็นว่ากระบวนการลดความร้อนของอากาศนี้จะมีทิศทางของอุณหภูมิตรงกันข้ามกับกระบวนการเพิ่มความร้อนของอากาศ โดยที่กระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นจะเริ่มจากสถานะเริ่มต้นของกระบวนการมาในทิศทางของทางเส้นอากาศอิมิตัวโดยที่เส้นของกระบวนการจะขนานกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งดังรูปที่ 10-17 ในส่วนของความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ก็เป็นความร้อนสัมผัสเช่นกัน

10.5.2 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification Process)

ได้มีการกล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆ ของความชื้นตั้งแต่ตอนแรกๆ ของบทความนี้แล้ว เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าที่สถานะความดันคงที่ถ้าอุณหภูมิลดลงความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการควบคุมสถานะอากาศให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่อุณหภูมิต่ำนั้นเราสามารถที่จะทำได้โดยวิธีการดังนี้คือ



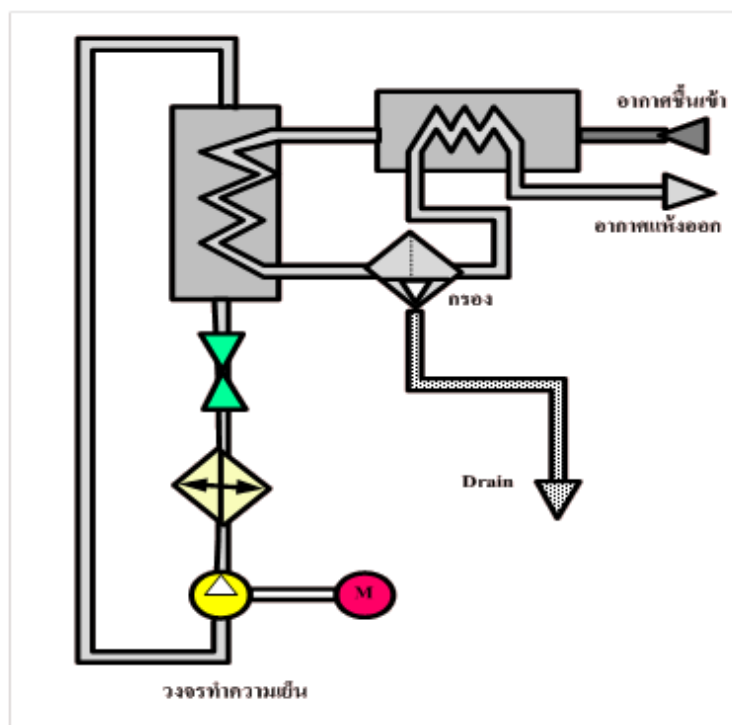
รูปที่ 10-18 แสดงการลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิของอากาศ

1) การลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิ (Dehumidification by Cooling)

คือการลดอุณหภูมิของอากาศ ณ จุดที่เป็นจุดลดความชื้นให้ลดลงจนถึงจุดน้ำค้าง (T_{dp}) ของอากาศ ตัวอย่างที่เราสามารถเห็นได้ก็คือในห้องที่ติดเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก เราจะเห็นว่าที่ด้านล่างของคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีภาชนะรองน้ำอยู่ซึ่งเป็นร่องไอน้ำที่ควบแน่นจากการกลั่นตัวนั่นเอง โดยหลักการทำงานง่ายก็คือสมมติในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ดังนั้นอุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่สภาวะดังกล่าวจะอยู่ที่ประมาณ 13.8°C และที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิประมาณ 7°C ดังนั้นเมื่ออากาศถูกดูดเข้าไกล์คอยล์เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศดังกล่าวและเมื่อที่จุดดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศจึงทำให้ความชื้นในอากาศเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ ทำให้ปริมาณความชื้นในอากาศลดลง สำหรับเส้นการลดความชื้นด้วยการลดอุณหภูมินั้นจะแสดงดังรูปที่ 10-18 อีกตัวอย่างหนึ่งก็คือการลดปริมาณน้ำในลมอัดของเครื่องอัดลม (Air Compressor) ดังวงจรในรูปที่ 10-18

2) การลดความชื้นโดยวิธีการดูดซึมความชื้น (Dehumidification by Absorption)

การลดความชื้นแบบนี้เป็นการใช้วัสดุดูดซึมความชื้น (Absorption Material) เช่น ซิลิกาเจล เป็นตัวลดความชื้นออกจากอากาศ การลดความชื้นวิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องลดอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 10-19 เมื่อเรานำวัสดุดูดความชื้นมาวาง วัสดุดูดความชื้นก็จะดูดไอน้ำหรือความชื้นในอากาศออกจากอากาศในระบบนั้น เป็นผลให้ความชื้นในอากาศลดลงโดยที่อุณหภูมิของอากาศคงที่



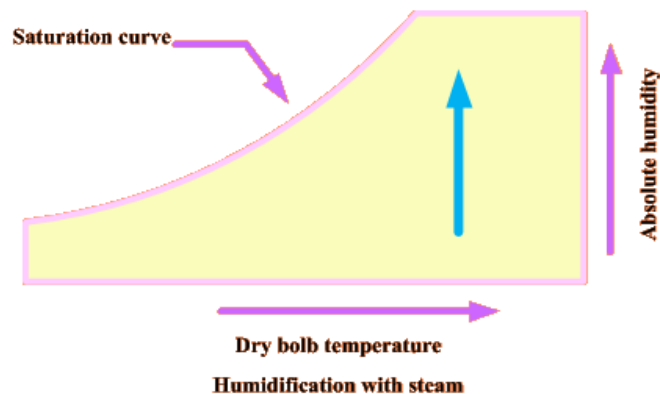
รูปที่ 10-19 แสดงการลดความชื้นโดยใช้วัสดุดูดความชื้น

10.5.3 กระบวนการเพิ่มความชื้น (Humidity Process)

ในกรณีที่สภาวะอากาศรอบๆ ระบบนั้นมีความชื้นน้อยแต่เราต้องการให้มีความชื้นมากภายในระบบ เช่น ในระบบปรับอากาศในเมืองหนาวที่ใช้ฮีทเตอร์เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิของอากาศแต่ความชื้นของระบบยังไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับระบบซึ่งวิธีการส่วนใหญ่ที่ทำได้ก็คือ

1) การเพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ (Humidification by Steam)

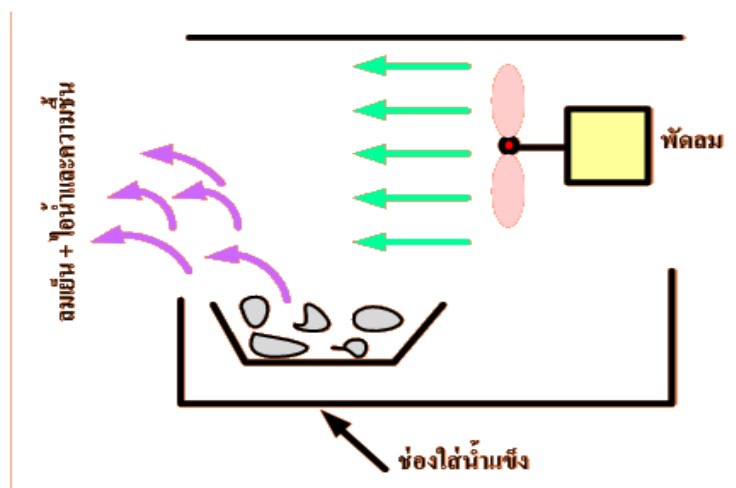
เมื่อเราเติมน้ำเข้าไปปะปนในอากาศ น้ำก็จะเจือปนอยู่กับอากาศในระบบทำให้ภายในระบบดังกล่าวมีความชื้นมากขึ้นตามที่ต้องการ สำหรับในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะแสดงดังรูปที่ 10-20 โดยที่กระบวนการจะเริ่มที่อุณหภูมิเริ่มต้นและเมื่อไอน้ำค่อยๆ เข้าไปในระบบแล้วความชื้นในระบบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นโดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งยังคงที่ส่วนตัวแปรที่เปลี่ยนไปคือค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะเปียก ดังรูป เราจะสังเกตได้ว่าเมื่อเราเพิ่มความชื้นเข้าไปในระบบเรื่อยๆ ค่าตัวแปรหนึ่งที่เปลี่ยนตามคือค่าอัตราส่วนความชื้นที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่ามวลของไอน้ำที่เราเติมเข้าไปนั้นมากขึ้นนั่นเอง



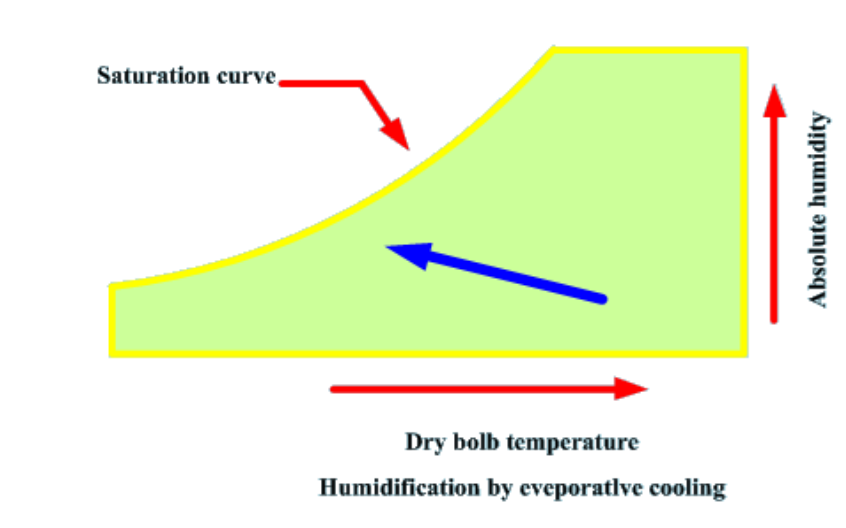
รูปที่ 10-20 แสดงการเพิ่มความชื้นโดยเติมน้ำเข้าสู่ระบบ

2) การเพิ่มความชื้นโดยการทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย (Humidification by Evaporative Cooling)

คือการเพิ่มความชื้นในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิไปในเวลาเดียวกันตัวอย่างของกระบวนการนี้ให้นึกถึงพัดลมแบบที่มีช่องใส่น้ำแข็งอยู่ที่ด้านหน้าของใบพัดดังรูปที่ 10-21 สมมติว่าเราเอาพัดลมตัวนี้ไปวางไว้ในห้อง เมื่อพัดลมเริ่มทำงานพัดลมก็จะเป่าทำให้น้ำแข็งละลายกลายเป็นไอน้ำออกมาทำให้อุณหภูมิรอบๆ พัดลมนั้นค่อย ๆ เย็นลง แต่ขณะเดียวกันนั้นปริมาณไอน้ำที่เกิดจากการระเหยก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศค่อยๆ มากขึ้นๆ ไปด้วย สำหรับกระบวนการในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นไปและมีทิศทางดังรูปที่ 10-22

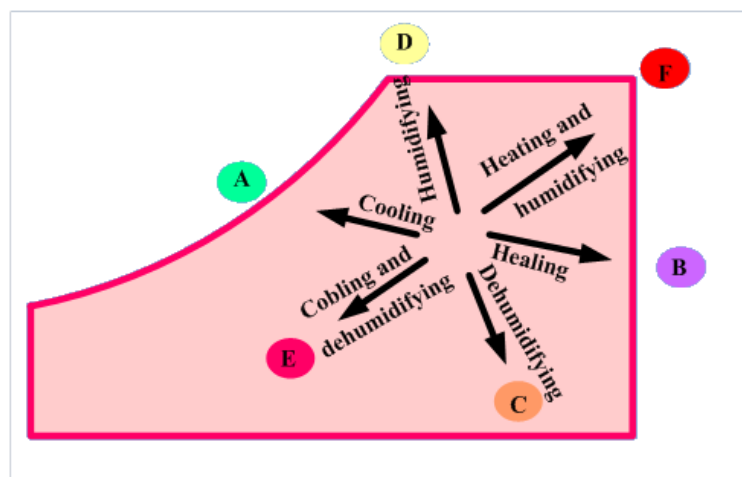


รูปที่ 10-21 แสดงพัดลมแบบเติมน้ำแข็ง



รูปที่ 10-22 แสดงการเพิ่มความชื้นแบบทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย

จากที่กล่าวในเรื่องของกระบวนการต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่กล่าวมาในข้างต้นพอจะสรุปกระบวนการต่างๆ ในรูปของแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังรูปที่ 10-23 ในการพิจารณาทิศทางของกระบวนการต่างๆ นั้น ให้เราพล็อตที่จุดแรกของสภาวะอากาศลงในแผนภูมิไซโครเมตริก จากนั้นเราก็พล็อตค่าสภาวะอากาศจุดที่สองลงในแผนภูมิไซโครเมตริก เมื่อเราได้จุดทั้งสองจุดแล้วก็จากเส้นจากจุดแรกไปยังจุดที่สอง จากนั้นเราก็ได้เส้นของกระบวนการที่เกิดขึ้นและสามารถพิจารณาได้ว่ากระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการไหน



รูปที่ 10-23 แสดงสรุปกระบวนการการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของอากาศ

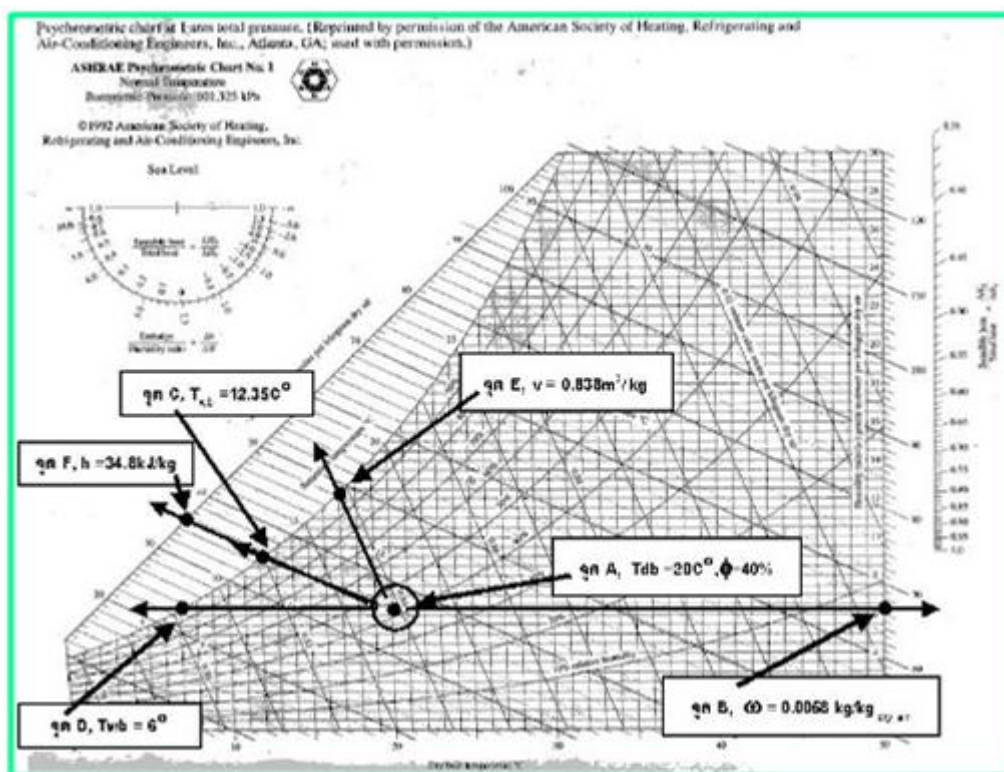
เพื่อความเข้าใจกระบวนการต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงของอากาศมากยิ่งขึ้น จึงขอยกตัวอย่างประกอบดังนี้

ตัวอย่าง การอ่านค่าสมบัติต่างๆ โดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก

พิจารณาอากาศในห้องที่ความดันบรรยากาศห้องหนึ่งที่อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 40% ให้ใช้แผนภูมิไซโครเมตริกหาค่าต่างๆ ของอากาศดังต่อไปนี้

- ก. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, Tdb)
- ข. อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)
- ค. ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume)
- ง. เอนทาลปีหรือระดับพลังงานของอากาศ (Enthalpy, h)

จากแผนภูมิไซโครเมตริกดังรูปที่ 10-24 เมื่อเราทราบค่าอุณหภูมิซึ่งเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ให้เราพลอตจุดลงที่จุดตัดระหว่างเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 20°C และเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 40% เราจะได้จุด A ซึ่งเป็นจุดที่ตรงกับคุณสมบัติของอากาศ ณ จุดนั้น



รูปที่ 10-24 แสดงแผนภูมิไซโครเมตริกตามตัวอย่าง

จากนั้นเราก็ทำการหาค่าต่างๆ ที่ต้องการโดย

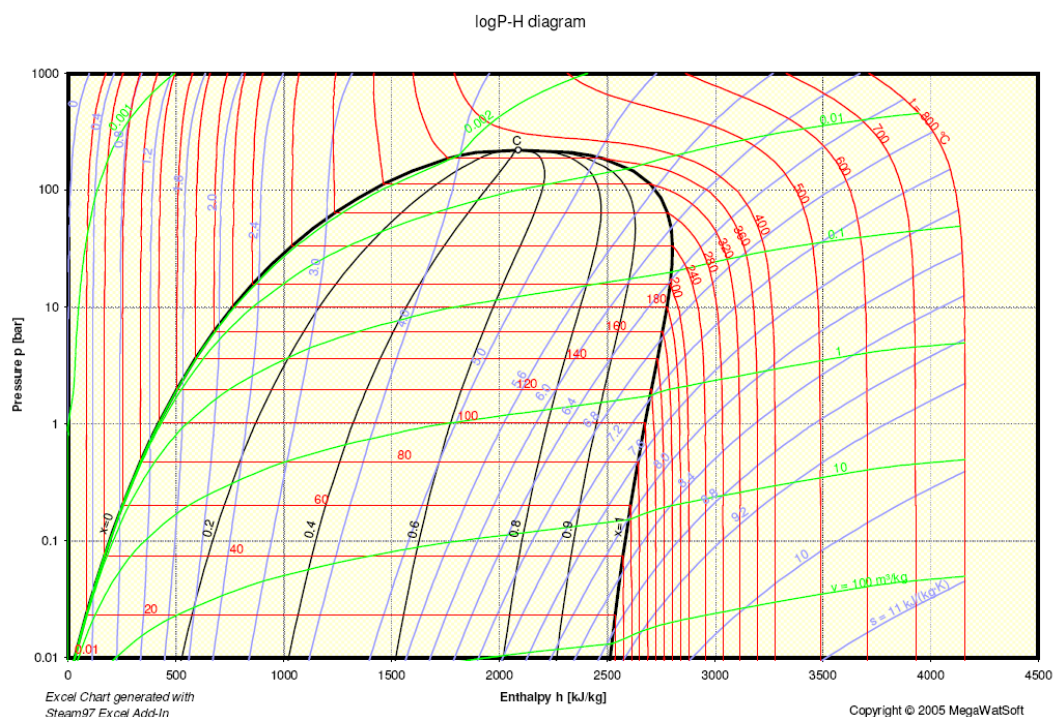
- 1) อัตราส่วนความชื้น ให้เราลากเส้นจากจุด A ไปทางขวามือโดยขนานไปกับแกนของอุณหภูมิกระเปาะแห้งไปตัดกับเส้นอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio, ω) จากนั้นเราก็พล็อตตรงจุดตัดที่จุด B และเทียบอัตราส่วนจากจากสเกลค่าที่จุดดังกล่าวเราก็จะได้อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ $0.0058 \text{ kg/kg Dry Air}$ หรือ $5.8 \text{ กรัม /kg Dry Air}$
- 2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก ให้เราลากเส้นจากจุด A ให้ขนานไปกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกไปจนตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวจากนั้นเราก็พล็อตจุดตรงจุดตัดระหว่างสองเส้นดังกล่าวที่จุด C และเทียบอัตราส่วนระหว่างเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกสองเส้นที่จุดดังกล่าวเราก็จะได้ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ 12.35°C

- 3) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง หาได้โดยการลากเส้นไปทางซ้ายมือของจุด A โดยให้ขนานไปกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งไปจนตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวที่จุด D และเทียบอัตราส่วนระหว่างเส้นอุณหภูมิหยดน้ำค้างสองเส้นที่จุดดังกล่าว เราก็จะได้ค่าอุณหภูมิหยดน้ำค้าง 6°C หมายความว่าถ้าวางวัตถุใดก็ตามที่สภาวะนี้จะมีหยดน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำมาเกาะที่วัตถุดังกล่าว
- 4) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ ให้เราลากเส้นจากจุด A โดยขนานกับเส้นแสดงค่าปริมาตรจำเพาะในแผนภูมิไซโครเมตริกจนไปตัดกับเส้นไอน้ำอิ่มตัวที่จุด E จากนั้นก็เทียบระยะสเกลหาค่า เราจะได้ค่าปริมาตรจำเพาะตรงจุดนี้เท่ากับ $0.838 \text{ m}^3/\text{kg}$
- 5) ค่าเอนทาลปีหรือระดับพลังงานของอากาศ หาได้โดยลากเส้นจากจุด A ให้ขนานกับเส้นเอนทาลปีที่อยู่ด้านนอกของแผนภูมิไซโครเมตริก ให้ไปตัดกับเส้นเอนทาลปีที่จุด F จากนั้นก็เทียบสเกลหาค่า เราจะได้ค่าเอนทาลปีที่จุดนี้เท่ากับ 34.8 kJ/kg

จากตัวอย่างคงจะทำให้เรามีความเข้าใจถึงการหาค่าต่าง ๆ ในแผนภูมิไซโครเมตริกกันบ้างแล้ว ในการหาค่าต่าง ๆ นั้นตัวแปรที่เราจำเป็นต้องรู้ตัวแปรอย่างน้อย 2 ตัวคือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งกับความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิกระเปาะเปียกกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง หรืออุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิหยดน้ำค้าง เราถึงจะสามารถหาค่าของคุณสมบัติที่เหลือได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก

10.6 แผนภูมิมอลเลียร์

แผนภาพมอลเลียร์ เป็นแผนภาพซึ่งสามารถแสดงสภาวะต่าง ๆ ของสารทำความเย็นในทุกสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ และทุกกระบวนการในวัฏจักรทำความเย็น



รูปที่ 10-25 แผนภาพมอลเลียร์ของน้ำ

ส่วนประกอบของเส้นและสมบัติต่างๆ ของสารทำงานในระบบปรับอากาศ บนแผนภูมิโมลลีย์ มีรายละเอียดดังนี้

10.6.1 เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว

เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว (saturated liquid (สีน้ำเงิน) and saturated vapor (สีน้ำแดง) lines) เป็นเส้นแบ่งพื้นที่ของแผนภาพโมลลีย์ออกเป็น 3 เขต คือ

- เขตของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled region) คือพื้นที่บริเวณด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัว สารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้จะมีสถานะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled liquid)
- เขตไอร้อนยวดยิ่ง (superheated region) คือพื้นที่บริเวณด้านขวาของเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสถานะเป็นไอที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่ง หรือไอดง(superheated vapor)
- เขตเปลี่ยนสถานะ (phase change region) คือพื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัว และเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสถานะผสมระหว่างของเหลวและไอ (liquid-vapor mixture) หรือเป็นเขตเปลี่ยนสถานะ คือการเปลี่ยนแปลงจากด้านซ้ายไปขวาเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอดตามกระบวนการกลายเป็นไอ (vaporization) และการเปลี่ยนแปลงจากด้านขวาไปซ้ายเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวตามกระบวนการควบแน่น (condensation) จุดที่เชื่อมต่องานระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวคือจุดวิกฤต (critical point) ซึ่งเป็นจุดที่สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวอิ่มตัวไปเป็นไอร้อนยวดยิ่ง หรือจากไอร้อนยวดยิ่งไปเป็นของเหลวอิ่มตัวได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านช่วง liquid-vapor mixture

10.6.2 เส้นความดันคงที่และเส้นเอนทาลปีคงที่

เส้นความดันคงที่และเส้นเอนทาลปีคงที่ (constant pressure and constant enthalpy lines) เส้นความดันคงที่คือกลุ่มของเส้นตรงในแนวระดับ รายงานเป็นความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) มีหน่วยเป็น psia, kg/cm² abs หรือ bar ส่วนเส้นเอนทาลปีคงที่คือกลุ่มของเส้นตรงในแนวตั้ง รายงานเป็นค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยมวล มีหน่วยเป็น Btu/lb, kcal/kg หรือ kJ/kg

10.6.3 เส้นคุณภาพไคคงที่

เส้นคุณภาพไคคงที่ (constant dryness lines - x) คือเส้นซึ่งลากจากจุดวิกฤตลงมาด้านล่างอยู่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว เป็นเส้นที่บอกเปอร์เซ็นต์ของสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอ(โดยน้ำหนัก) เช่น เส้น $x = 0.1$ หมายความว่า มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไคคิดเป็นน้ำหนัก 10% และส่วนที่เป็นของเหลว 90%

10.6.4 เส้นอุณหภูมิกคงที่

เส้นอุณหภูมิกคงที่ (constant temperature lines) คือเส้นที่อยู่ในแนวเกือบขนานกับเส้นเอนทาลปีเมื่ออยู่ในเขตของเหลวเย็นยิ่ง เป็นเส้นตรงขนานกับเส้นความดันเมื่ออยู่ในเขตเปลี่ยนสถานะและจะเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งลงทางด้านล่างเมื่ออยู่ในเขตไอร้อนยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น °F

10.6.5 เส้นเอนโทรปีคงที่

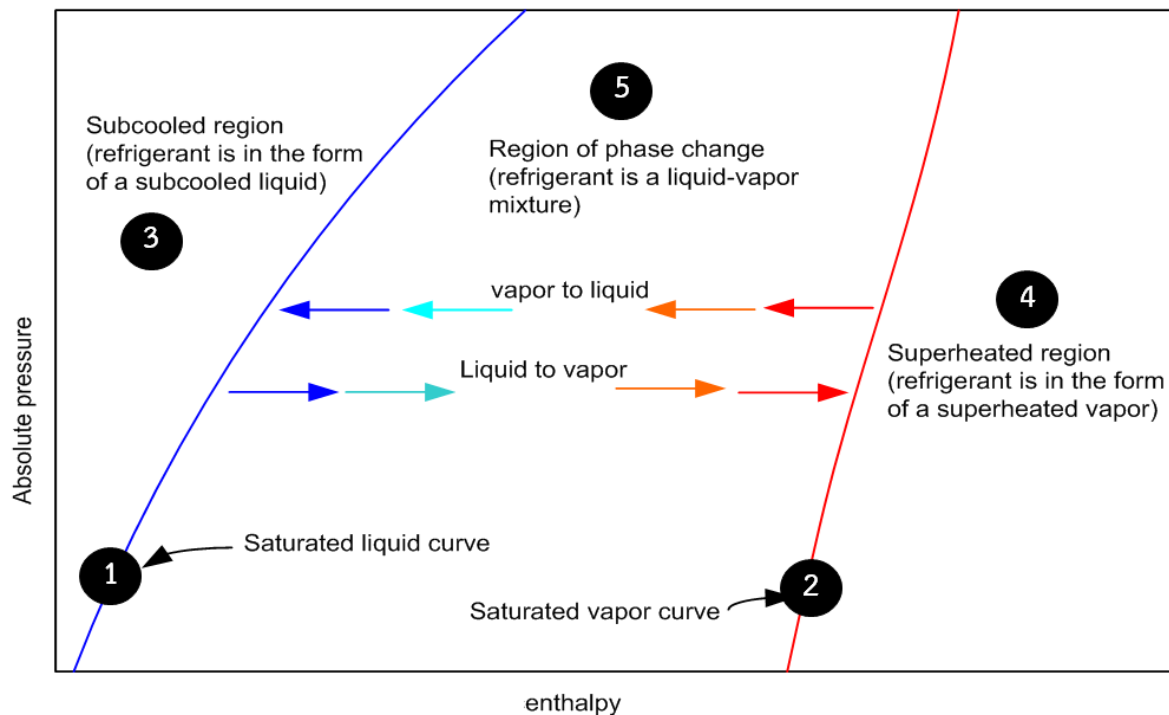
เส้นเอนโทรปีคงที่ (constant entropy lines) คือเส้นโค้งซึ่งเอียงขึ้นเป็นมุมสูง อยู่ในเขตไอร่อนยวดยิ่ง เป็นเส้นบอกอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอนทาลปีต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง 1 องศา มีหน่วยเป็น Btu/lb R, kcal/kg K หรือ kJ/kg K

10.6.6 เส้นปริมาตรจำเพาะคงที่

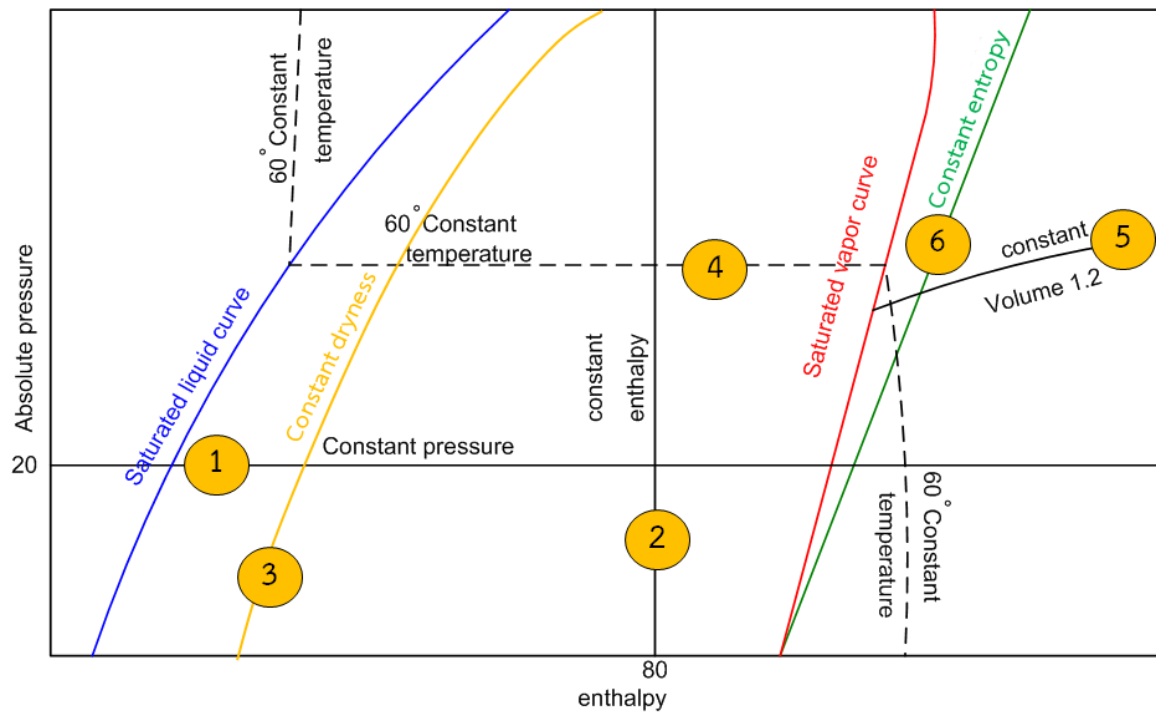
เส้นปริมาตรจำเพาะคงที่ (constant specific volume lines) คือเส้นโค้งที่เอียงขึ้นเป็นมุมใกล้เคียงกับแนวนอน อยู่ในเขตไอร่อนยวดยิ่ง เป็นเส้นที่บอกค่าของปริมาตรของสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยของมวลมีหน่วยเป็น ft³/lb, m³/kg

10.6.7 แผนภูมิโมลเลียร์กับการทำงานของการทำความเย็นแบบอัดไอ

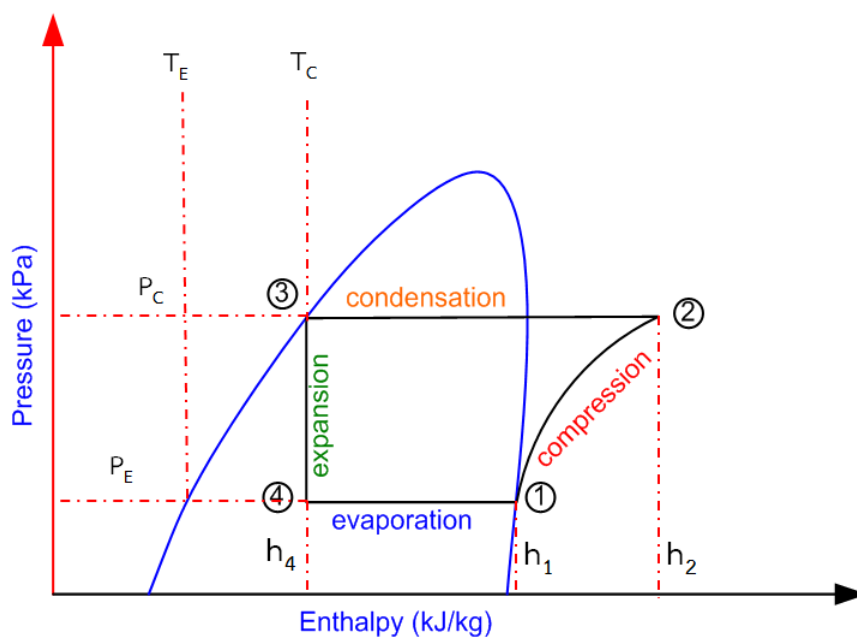
วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ มีการทำงานเบื้องต้นซึ่งประกอบด้วย 4 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการอัด (compression process) โดยคอมเพรสเซอร์ กระบวนการควบแน่น (condensing process) โดยคอนเดนเซอร์ กระบวนการขยายตัว (expansion process) โดยลิ้นลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล และกระบวนการกลายเป็นไอ (vaporizing process) โดยเครื่องระเหยในการศึกษาวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอวิธีหนึ่งคือ การแทนการทำงานของกระบวนการต่างๆ ลงในแผนภาพมอลเลียร์ (mollier diagram) หรือแผนภาพความดัน-เอนทาลปี (pressure-enthalpy หรือ P-h diagram)



รูปที่ 10-26 สถานะของสารทำงานบนแผนภูมิโมลเลียร์



รูปที่ 10-27 ความหมายของเส้นต่างๆ บนแผนภูมิโมลเดียว



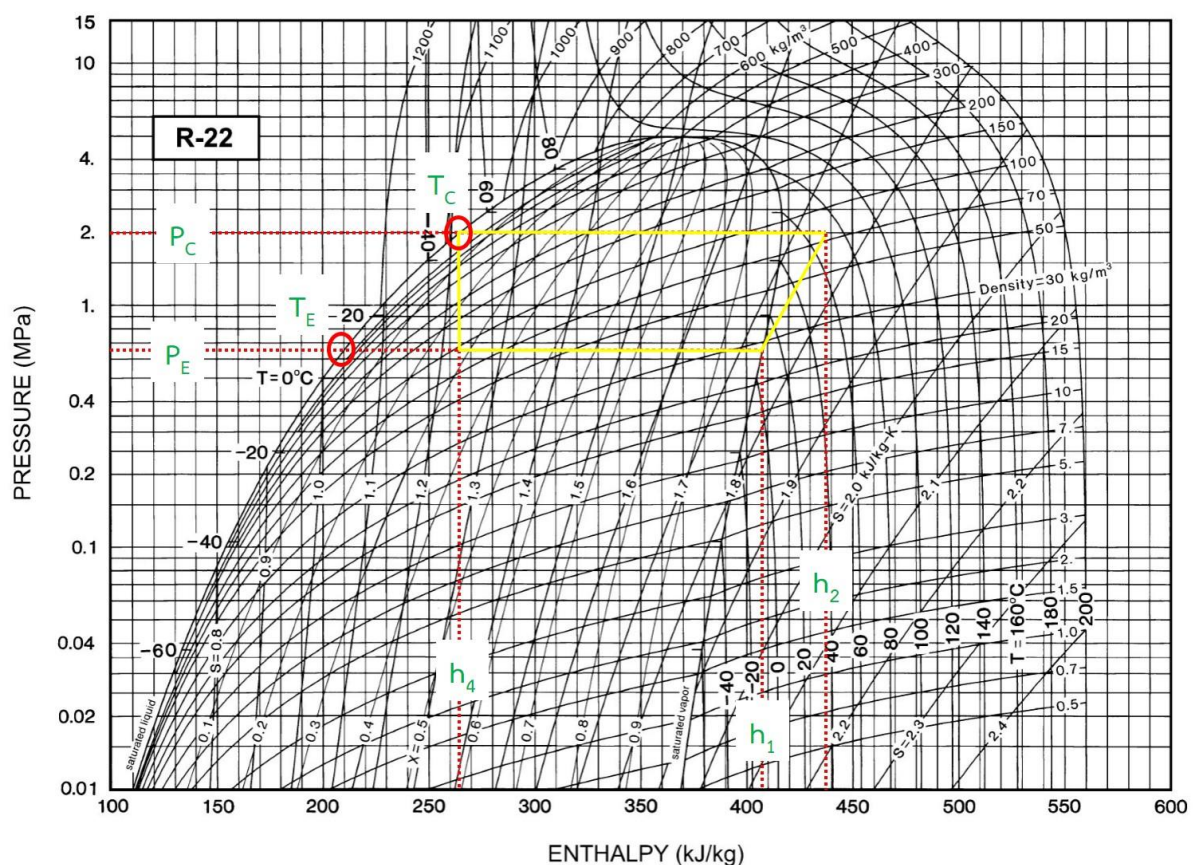
รูปที่ 10-28 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอของสารทำงานในระบบปรับอากาศบนแผนภูมิโมลเดียว

ตัวอย่าง การอ่านค่าสมบัติต่างๆ ของสารทำงานจากแผนภูมิโมลเลียร์

โจทย์ เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนใช้ R-22 เป็นสารทำงาน ถ้าให้สารทำงานออกจากคอยล์ร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และมีอุณหภูมิก่อนเข้าคอยล์เย็นที่ 8 °C จงวาดวัฏจักรการทำงานแบบอัดไอ พร้อมหาค่าเอนทาลปีสารทำงาน ณ จุดต่างๆ ของระบบ (h_1 , h_2 , h_4) และความดันสูงสุดและต่ำสุดของระบบ

วิธีทำ จากแผนภูมิโมลเลียร์ สรุปค่าที่ต้องการหาได้ดังนี้

สมบัติของ R-22 ณ จุดต่างๆ	ค่าที่อ่านได้จากแผนภูมิ	หน่วย
h_1	408	kJ/kg
h_2	438	kJ/kg
h_4	264	kJ/kg
ความดันสูงสุดในระบบ (P_C)	1.9	MPa
ความดันต่ำสุดในระบบ (P_E)	0.65	MPa



รูปที่ 10-29 ตัวอย่างการอ่านค่าต่างๆ บนแผนภูมิโมลเลียร์

10.7 แผนภูมิเอนทัลปีกับพลังงานในระบบปรับอากาศ

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots (9)$$

เมื่อ h_1 คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าเครื่องอัดไอ หรือ เอนทัลปีของสารทำงานหลังออกจากคอยล์เย็น

h_2 คือ เอนทัลปีของสารทำงานหลังออกจากเครื่องอัดไอ

h_4 คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าคอยล์เย็น

กรณีคอยล์ร้อนสกปรก

- 1) คอยล์ร้อนที่สกปรกจะทำให้การระบายความร้อนของสารทำงานไม่ดีเท่ากับคอยล์ร้อนที่สะอาด ส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นของคอยล์เย็นลดลง (ค่า $h_4 - h_1$ ลดลงเมื่อเทียบกับ คอยล์ร้อนที่สะอาด) ดังนั้นจึงทำให้ค่า COP ลดต่ำลง หรือ พูดง่ายๆ ก็คือ ใส่พลังงานให้กับสารทำงานเท่าเดิมแต่ทำความเย็นได้น้อยลง
- 2) สาเหตุที่ทำให้คอยล์ร้อนระบายความร้อนได้ไม่ดี นอกจากจะเกิดจากการไม่ล้างคอยล์ร้อนแล้ว ยังเกิดจากสาเหตุอื่นๆ อีก เช่น
 - การระบายความร้อนถูกปิดกั้นทำให้การระบายความร้อนได้ไม่เต็มที่ เช่น เอาสิ่งของมาวางติดกับพัดลมระบายความร้อน หรือนำผ้าชีวี่มาตากที่คอยล์ร้อน เป็นต้น
 - การติดตั้งคอยล์ร้อนที่ผิด เช่น ติดตั้งใกล้กำแพงเกินไป ติดตั้งในที่ที่ฝนสาดได้ง่ายทำให้เกิดการผุกร่อน ติดตั้งในบริเวณที่ถูกแสงแดดส่องถึงตลอดเวลา เป็นต้น

กรณีคอยล์เย็นสกปรก

- คอยล์เย็นสกปรก และ ความเร็วอากาศที่ลดลงเนื่องจากฟิลเตอร์สกปรก จะทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศในห้องปรับอากาศ กับ สารทำงานในคอยล์เย็นแยลง ซึ่งจะทำให้ค่า $h_1 - h_4$ น้อยลงกว่าปกติ และ $h_2 - h_1$ เพิ่มขึ้นกว่าปกติ เป็นสาเหตุทำให้ค่า COP ลดต่ำลง (เมื่อเทียบกับคอยล์เย็นตอนสะอาด) ดังนั้น จึงควรล้างและทำความสะอาดคอยล์เย็นและฟิลเตอร์ให้สะอาดอยู่เสมอ

6. การหาค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-point temperature) สามารถหาได้ด้วยวิธีใดต่อไปนี้
- ก. ลากเส้นแนวตั้งจากจุดตัดระหว่าง ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์
 - ข. ลากเส้นแนวนอนจากจุดตัดระหว่าง ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์
 - ค. ลากเส้นแนวตั้งจากจุดตัดระหว่าง ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกไปยังเส้นอุณหภูมิอิมตัว
 - ง. ถูกทุกข้อ

7. ข้อใดคือความหมายของคำว่า “ปริมาตรจำเพาะของอากาศ”

- ก. อัตราส่วนของน้ำหนักอากาศต่อน้ำหนักอากาศแห้ง
- ข. อัตราส่วนของปริมาตรอากาศต่อมวลอากาศแห้ง
- ค. อัตราส่วนของปริมาตรไอน้ำต่อมวลอากาศแห้ง
- ง. อัตราส่วนของความชื้นต่อมวลของไอน้ำในอากาศ

8. จากการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่บริเวณทางเข้า Evaporator (Return air) วัดอุณหภูมิ (Tdb) ได้ 26°C ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 60% บริเวณที่วัดมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ จากแผนภูมิไซโครเมตริกที่ให้จงหาสมบัติของอากาศที่จุด Return air ดังนี้ อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาตรจำเพาะของอากาศ และเอนทาลปี

- ก. $T_{wb} = 29.4^{\circ}\text{C}$, $T_{dp} = 18.7^{\circ}\text{C}$, $v = 0.763 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$ และ $h = 45.0 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$
- ข. $T_{wb} = 25.5^{\circ}\text{C}$, $T_{dp} = 19.8^{\circ}\text{C}$, $v = 0.664 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$ และ $h = 64.0 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$
- ค. $T_{wb} = 20.4^{\circ}\text{C}$, $T_{dp} = 17.7^{\circ}\text{C}$, $v = 0.864 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$ และ $h = 59.0 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$
- ง. $T_{wb} = 23.2^{\circ}\text{C}$, $T_{dp} = 20.7^{\circ}\text{C}$, $v = 0.784 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$ และ $h = 73.0 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$

9. การทำความสะอาดฟิลเตอร์กรองอากาศ มีผลต่อประสิทธิภาพต่อระบบทำความเย็นอย่างไร

- ก. ทำให้ค่าเอนทาลปีของอากาศก็จะสูงขึ้น
- ข. ลดค่า BTU/hr
- ค. ลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับคอยล์เย็น
- ง. ทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น

10. กระบวนการใดที่ไม่สามารถพิจารณาด้วยไซโครเมตริกชาร์ทได้

- ก. กระบวนการเพิ่มความชื้น
- ข. กระบวนการเพิ่มและลดความร้อน
- ค. กระบวนการลดความชื้น
- ง. กระบวนการเพิ่มปริมาณอากาศ

11. ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแผนภูมิไซโครเมตริกกับพลังงาน ในข้อใดที่สามารถใช้ไซโครเมตริกชาร์ทเป็นเครื่องมือในการหาค่าได้

- ก. สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP)
- ข. ประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศ (EER)
- ค. ประสิทธิภาพของมอเตอร์
- ง. ประสิทธิภาพของอีวาพอเรเตอร์

12. BTU/hr ตรงกับความหมายในข้อใดมากที่สุด

- ก. ปริมาณความเย็นที่ผลิตได้ หรือ ปริมาณมวลอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นภายใน 1 ชม. คูณกับ ผลต่างระหว่างเอนทัลปีของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็นกับเอนทัลปีของอากาศหลังจากออกจากคอยล์เย็น
- ข. ปริมาณความเย็นที่ผลิตได้ หรือ ปริมาณมวลอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นภายใน 1 ชม. คูณกับ ผลต่างระหว่างเอนทัลปีของอากาศออกจากคอยล์เย็นกับเอนทัลปีของอากาศก่อนเข้าจากคอยล์เย็น
- ค. ปริมาณความเย็นที่ผลิตได้ หรือ ปริมาณมวลอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นภายใน 2 ชม. คูณกับ ผลต่างระหว่างเอนทัลปีของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็นกับเอนทัลปีของอากาศหลังจากออกจากคอยล์เย็น
- ง. ปริมาณความเย็นที่ผลิตได้ หรือ ปริมาณมวลอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นภายใน 2 ชม. คูณกับ ผลต่างระหว่างเอนทัลปีของอากาศออกจากคอยล์เย็นกับเอนทัลปีของอากาศก่อนเข้าจากคอยล์เย็น

13. ข้อใดให้คำนิยามของ แผนภูมิโมลลีย์ ได้อย่างถูกต้อง

- ก. แผนภาพมอลลีย์ เป็นแผนภาพซึ่งสามารถแสดงสถานะต่างๆ ของสารทำความเย็นบางสถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ และบางกระบวนการในวัฏจักรทำความเย็น
- ข. แผนภาพมอลลีย์ เป็นแผนภาพซึ่งไม่สามารถแสดงสถานะต่างๆ ของสารทำความเย็นได้ในทุกสถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ และทุกกระบวนการในวัฏจักรทำความเย็น
- ค. แผนภาพมอลลีย์ เป็นแผนภาพซึ่งสามารถแสดงสถานะต่างๆ ของสารทำความเย็นในทุกสถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ และทุกกระบวนการในวัฏจักรทำความเย็น
- ง. ผิดทุกข้อ

14. แผนภูมิโมลลีย์ มีชื่อเรียกว่าอะไร

- ก. แผนภาพอุณหภูมิ-ความชื้นสัมพัทธ์
- ข. แผนภาพความดัน-เอนทัลปี
- ค. แผนภาพเอนทัลปี-อุณหภูมิ
- ง. แผนภาพเอนทัลปี-ปริมาตรจำเพาะของอากาศ

15. ข้อใดต่อไปนี้มีความหมายตรงกับ เส้นของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid line)

- ก. สารทำความเย็นที่ทำงานที่อยู่บนเส้นนี้ อุณหภูมิและความดันของสารอยู่ที่จุดเดือด แต่สภาพยังเป็นของเหลวทั้งหมด
- ข. สารทำความเย็นที่ทำงานที่อยู่บนเส้นนี้ อุณหภูมิและความดันของสารอยู่ที่จุดเยือกแข็ง แต่สภาพยังเป็นของเหลวทั้งหมด
- ค. สารทำความเย็นที่ทำงานที่อยู่บนเส้นนี้ อุณหภูมิและความดันของสารอยู่ที่จุดหลอมเหลว แต่สภาพยังเป็นของเหลวทั้งหมด
- ง. สารทำความเย็นที่ทำงานที่อยู่บนเส้นนี้ อุณหภูมิและความดันของสารอยู่ที่จุดเดือด แต่สภาพเป็นไอทั้งหมด

16. ข้อใดต่อไปนี้เป็นส่วนประกอบของเส้นในแผนภูมิโมลลีย์
- เส้นความดันคงที่และเส้นเอนทาลปีคงที่
 - เส้นปริมาตรจำเพาะคงที่
 - เส้นอุณหภูมิคงที่
 - ถูกทุกข้อ
17. สมมติอ่านค่าจากเส้นคุณภาพไอคงที่ได้เท่ากับ 0.1 ($X = 0.1$) มีความหมายตรงกับข้อใดต่อไปนี้
- มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอคิดเป็นน้ำหนัก 10% และส่วนที่เป็นของเหลว 90%
 - มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอคิดเป็นน้ำหนัก 90% และส่วนที่เป็นของเหลว 10%
 - มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอคิดเป็นน้ำหนัก 0.1 กรัมและส่วนที่เป็นของเหลว 0.9 กรัม
 - มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอคิดเป็นน้ำหนัก 0.9 กรัมและส่วนที่เป็นของเหลว 0.1 กรัม
18. เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนใช้ R-22 เป็นสารทำงาน ถ้าให้สารทำงานออกจากคอยล์ร้อนที่อุณหภูมิ 50°C และมีอุณหภูมิก่อนเข้าคอยล์เย็นที่ 8°C จงหาค่าเอนทาลปีสารทำงาน ณ จุดต่างๆ ของระบบ
- $h_1 = 438 \text{ kJ/kg}$, $h_2 = 408 \text{ kJ/kg}$, และ $h_4 = 264 \text{ kJ/kg}$
 - $h_1 = 408 \text{ kJ/kg}$, $h_2 = 438 \text{ kJ/kg}$, และ $h_4 = 264 \text{ kJ/kg}$
 - $h_1 = 408 \text{ kJ/kg}$, $h_2 = 264 \text{ kJ/kg}$, และ $h_4 = 438 \text{ kJ/kg}$
 - $h_1 = 264 \text{ kJ/kg}$, $h_2 = 438 \text{ kJ/kg}$, และ $h_4 = 408 \text{ kJ/kg}$
19. จากเงื่อนไขในข้อที่ 18 ข้อใดต่อไปนี้เป็นค่าความดันสูงสุดและต่ำสุดของระบบ
- ความดันสูงสุดในระบบ (P_C) และ ความดันต่ำสุดในระบบ (P_E) เท่ากับ 1.9 และ 0.65 MPa ตามลำดับ
 - ความดันสูงสุดในระบบ (P_C) และ ความดันต่ำสุดในระบบ (P_E) เท่ากับ 0.65 และ 1.9 MPa ตามลำดับ
 - ความดันสูงสุดในระบบ (P_C) และ ความดันต่ำสุดในระบบ (P_E) เท่ากับ 9.1 และ 6.50 MPa ตามลำดับ
 - ข้อมูลไม่เพียงพอที่จะสามารถหาคำตอบได้
20. ข้อใดต่อไปนี้เป็นผลที่เกิดจากการทำความสะอาดคอยล์ร้อน
- เครื่องอัดไอ (Compressor) ทำงานหนักขึ้น
 - ค่า COP ลดต่ำลง
 - เกิดการระบายความร้อนของสารทำงานได้เป็นอย่างดี
 - เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศในห้องปรับอากาศกับสารทำงานในคอยล์เย็นได้แย่ลง



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



โครงการพัฒนากลยุทธ์การอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

รายวิชาที่ 3

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า รหัส 2104-2009

หน่วยที่ 5 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสลับ 3 เฟส

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พ.ศ. 2556

ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม

สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

.....

จุดประสงค์ของหลักสูตร

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านภาษา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สังคมศึกษา สุขศึกษาและพลศึกษาในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการบริหารและการจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพช่างไฟฟ้ากำลังให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการและกระบวนการงานพื้นฐานด้านอุตสาหกรรม
4. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในงานผลิตและงานบริการทางไฟฟ้าตามหลักการและกระบวนการในลักษณะครบวงจรเชิงธุรกิจ โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานช่างไฟฟ้ากำลังในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะพื้นฐานในการศึกษาต่อระดับสูงขึ้น
6. เพื่อให้สามารถเลือก ใช้ ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในงานอาชีพช่างไฟฟ้ากำลัง
7. เพื่อให้มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีต่องานอาชีพ มีความริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์ ประหยัด อดทน มีวินัย มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ต่อด้านความรุนแรงและสารเสพติด สามารถพัฒนาตนเองและทำงานร่วมกับผู้อื่น

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 2104-2009

ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

ทฤษฎีรวม 2 คาบ

ชื่อรายวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

สาขาวิชา ช่างไฟฟ้ากำลัง

ปฏิบัติรวม 3 คาบ

3 หน่วยกิต

จุดประสงค์รายวิชา

1. รู้เข้าใจสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานควบคุมมาตรฐานต่างๆ
2. เลือกว่าสชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
3. มีทักษะเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
4. มีเจตคติและนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน มีความละเอียดรอบคอบ ปลอดภัย เป็นระเบียบ สะอาด ตรงต่อเวลา มีความซื่อสัตย์และความรับผิดชอบ

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสัญลักษณ์โครงสร้างและหลักการทำงานของ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
2. เลือกขนาดของสาย อุปกรณ์ป้องกัน คอนแทกเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
3. ต่อบังคับควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส และ 3 เฟส

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับงานควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า สัญลักษณ์ตามมาตรฐาน IEC DIN ANSI การเลือกขนาดของสาย อุปกรณ์ป้องกัน คอนแทกเตอร์ หลักการเริ่มเดินและควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส และ 3 เฟส การต่อบังคับควบคุมการเริ่มเดิน การควบคุมความเร็ว การควบคุมแบบเรียงลำดับ การกลับทิศทางการหมุนด้วยวิธีต่างๆ และการลดกระแสขณะเริ่มเดิน

หน่วยการสอน

รหัส 2104-2009 วิชาการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าจำนวน5ชั่วโมง/สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
-	ปฐมนิเทศ	1
1	สัญลักษณ์และการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า	5
2	ขนานสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า	5
3	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	5
4	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
-	ข้อสอบกลางภาค	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
5	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	5
-	สอบปลายภาค	5
	รวม	80

เกณฑ์การประเมินผล
วิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า รหัส 2104-2009

รายการ	คะแนน
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20
2. ทดสอบ	
2.1 สอบปลายภาค	30
3. ภาระงาน	
3.1 แบบฝึกหัด	30
3.2 รายงาน	20
รวม	100

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์		
สาระสำคัญ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้หมายถึงการควบคุมมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำโรเตอร์กรงกระรอก เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่คงทน ดูแลรักษาง่าย ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยคอนแทคเตอร์ การเริ่มเดิน การหยุดและการกลับทางหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยใช้อุปกรณ์ชนิดต่างๆ เรื่องที่จะศึกษา 1 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1 การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ จุดประสงค์การเรียนรู้ 1 รู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1 อธิบายวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ควบคุมแบบต่างๆ ได้ 1.2. เขียนวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้ 1.3. อธิบายวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์แบบลดแรงดันไฟฟ้าได้ 1.4. แก้ไขวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้		

หน่วยที่ 5

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

5.1 การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แบบซิงโครนัส (Synchronous Motor)
2. แบบเหนี่ยวนำ (Induction Motor)
 - 2.1 แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor)
 - 2.2 แบบโรเตอร์พันขดลวด (Wound Rotor)

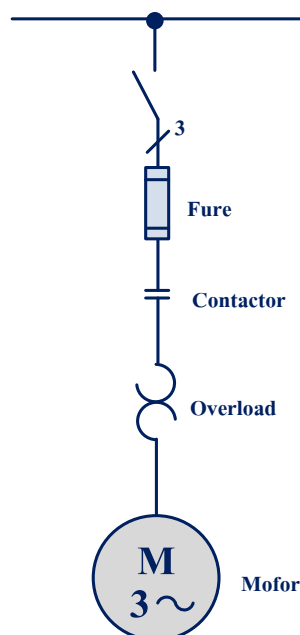
การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะหมายถึงการควบคุมมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำโรเตอร์กรงกระรอก เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่คงทน ดูแลรักษาง่าย ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยคอนแทคเตอร์ การเริ่มเดิน การหยุดและการกลับทางหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยใช้อุปกรณ์ชนิดต่างๆ

การเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

การเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ แบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

1. วงจรสายเดี่ยว (One Line Diagram)

จะเขียนแสดงการทำงานของวงจรกำลัง แต่จะเขียนด้วยเส้นเพียงเส้นเดียว ดังนั้นผู้ที่แปลความหมายของวงจรชนิดนี้ จะต้องมีความเข้าใจพอสมควร

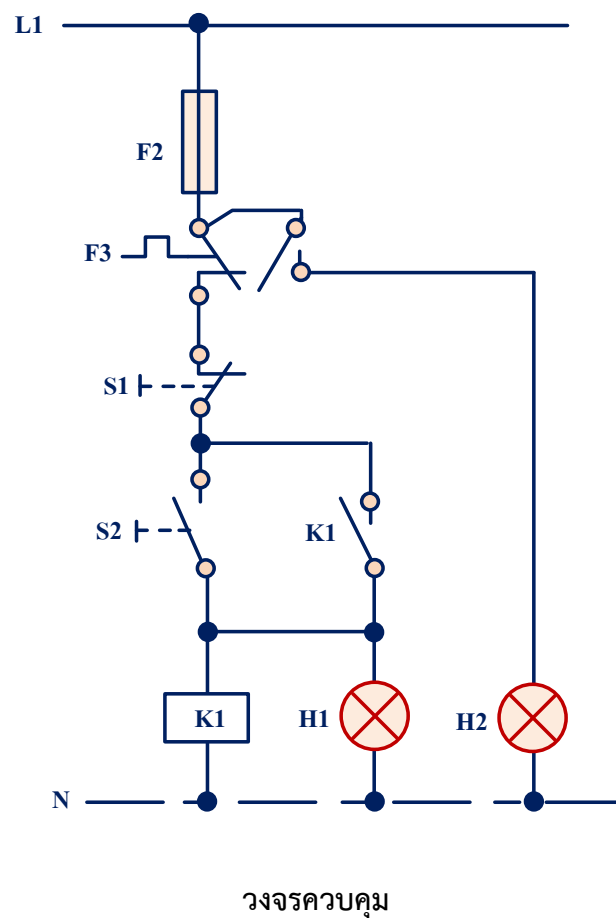


รูปที่ 5-1 วงจรสายเดี่ยว

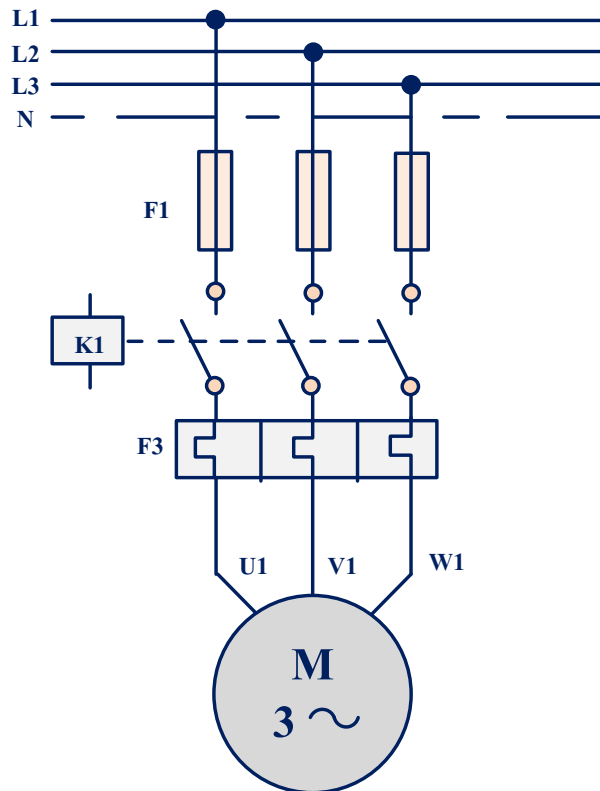
1. วงจรแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)

แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 วงจร คือ

- **วงจรกำลัง** (Power Circuit) จะเขียนแสดงรายละเอียดเฉพาะวงจรกำลังเท่านั้น (ส่วนของวงจรที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจำนวนมาก)
- **วงจรควบคุม** (Control Circuit) จะเขียนแสดงรายละเอียดการทำงานของส่วนวงจรควบคุมเท่านั้น อุปกรณ์หลัก คือ แมกเนติกคอนแทคเตอร์ ไทม์เมอร์รีเลย์ (รีเลย์หน่วงเวลา) และสวิตช์ปุ่มกด เป็นต้น การเขียนแบบวงจรควบคุมจะเรียงลำดับจากซ้ายไปขวามีตัวเลขกำกับบอกจำนวนแถว เช่น แถวที่ 1, 2, 3



รูปที่ 5-2 ก. วงจรแสดงการทำงานของวงจรควบคุม

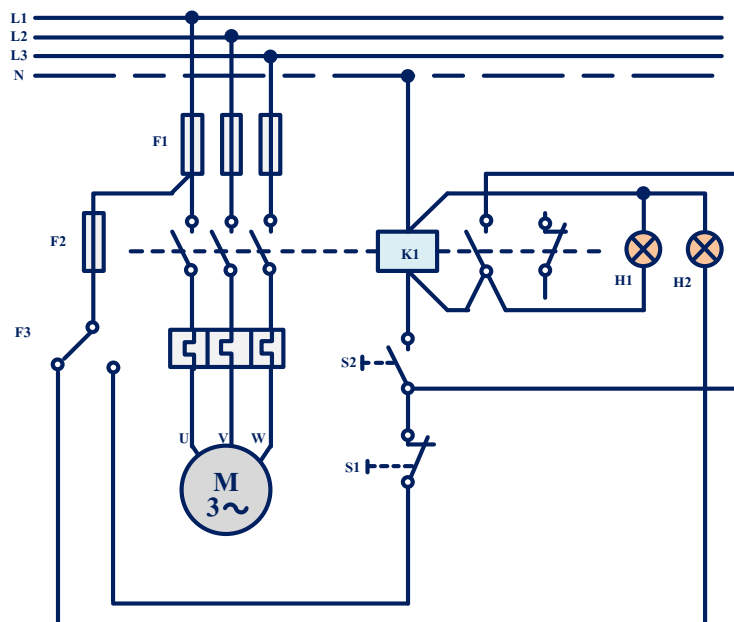


วงจรกำลัง

รูปที่ 5-2 ข. วงจรแสดงการทำงานของวงจรกำลัง

3. แบบงานจริง (Working Diagram)

เป็นการเอาวงจรกำลังและวงจรควบคุมใน Schematic Diagram เข้าไว้ด้วยกัน การเขียนจึงมีลักษณะคล้ายงานจริง แต่จะเขียนโดยใช้สัญลักษณ์



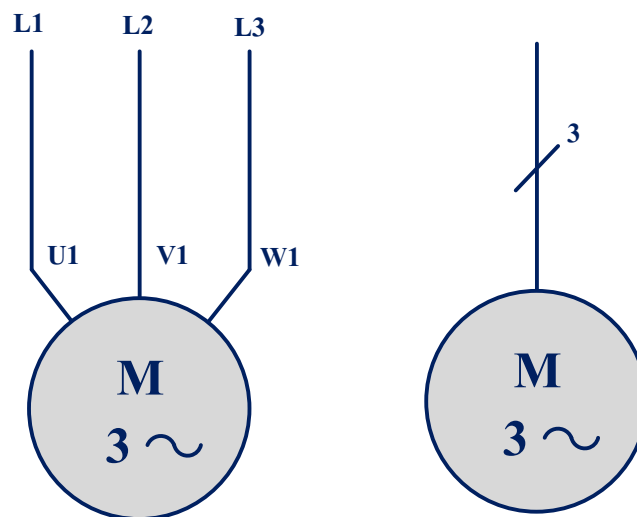
รูปที่ 5-3 แบบงานจริง

4. วงจรประกอบติดตั้ง (Constructional Wiring Diagram)

ในสภาพความเป็นจริงแล้วอุปกรณ์แต่ละอย่างจะอยู่คนละที่กัน นั่นคือ ระบบควบคุมจะติดตั้งไว้ในตู้ที่มีฝาปิด แต่ว่าตัวมอเตอร์จะติดตั้งไว้ภายนอก ลักษณะเช่นนี้จึงต้องมีการโยงสายเชื่อมต่อเข้าหากันโดยใช้ขั้วต่อสาย (Terminal) เช่นที่ขั้วต่อสาย X2 จุดที่ 6 จะต่อกับขั้วต่อสาย X3 จุดที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาที่ขั้วต่อสาย X2 จุดที่ 4 และ 5 จะเป็นจุดเดียวกัน จึงรวมกันได้ เช่นเดียวกับขั้วต่อสาย X3 จุดที่ 5 และ 6

การต่อวงจรขดลวดมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

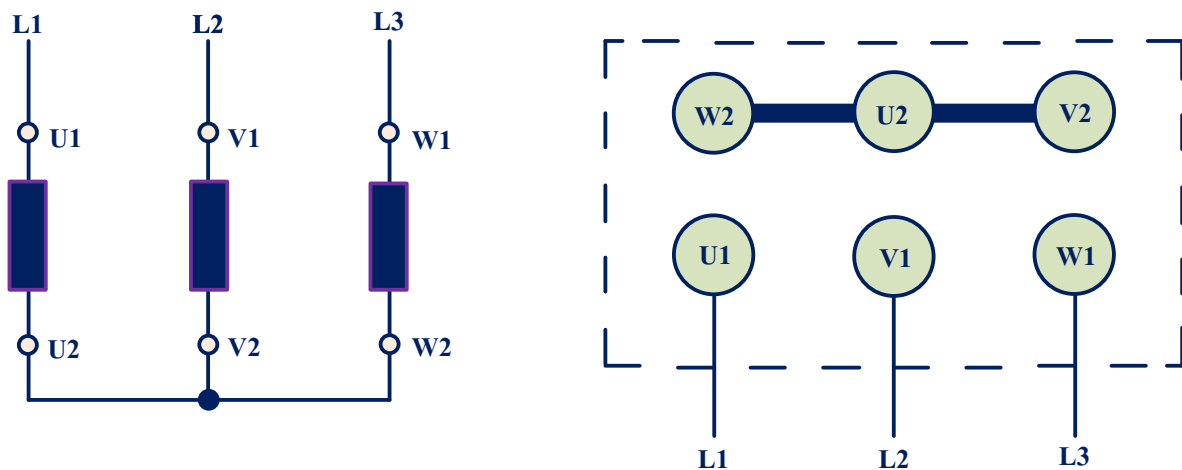
ภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Three Phase AC Motor) จะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด วางทำมุม 120 องศา ซึ่งกันและกันทางไฟฟ้า แต่ละชุดจะมีอักษรกำกับไว้ ดังนี้



รูปที่ 5-4 สัญลักษณ์มอเตอร์ 3 เฟส

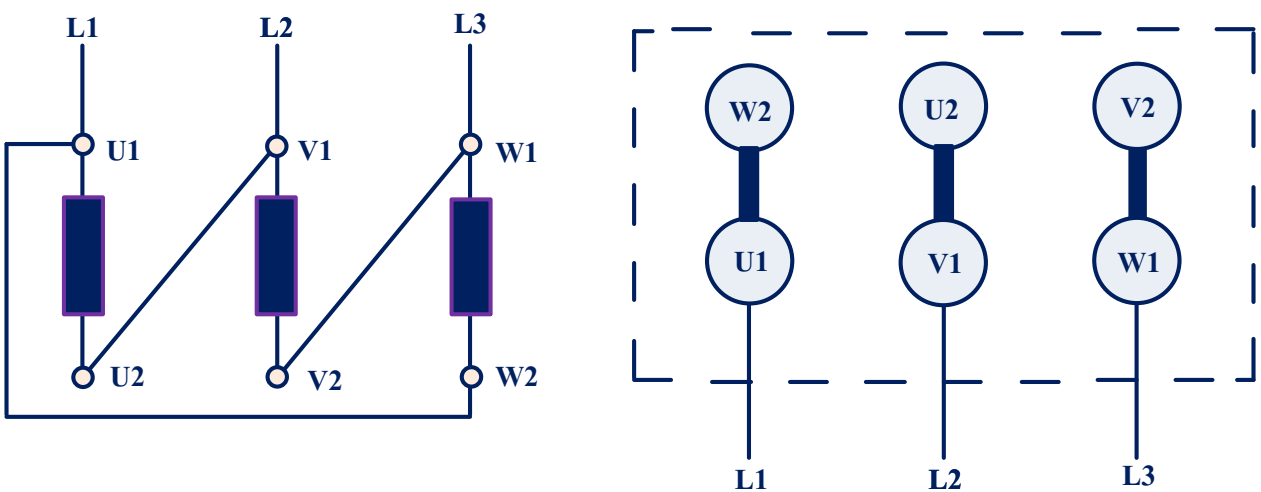
การต่อวงจรขดลวดมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มี 2 วิธี คือ

1. ต่อแบบสตาร์ (Star Connection) เรียกอีกอย่างว่าต่อแบบวาย (Wye Connection) เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับอักษรตัว Y การต่อแบบนี้จะรวมปลายขดลวดทุกชุดเอาไว้ด้วยกัน (ต่อ U2, V2 และ W2 เข้าด้วยกัน) จากนั้นจ่ายไฟเข้าที่ขั้ว U1, V1 และ W1 ดังรูปที่ 5.7 อย่างไรก็ตามการต่อแบบสตาร์ อาจจะรวมขั้ว U1, V1 และ W1 เข้าด้วยกัน จากนั้นจ่ายไฟเข้าที่ขั้ว U2, V2 และ W2 ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5-5 การต่อขดลวดและขั้วต่อมอเตอร์แบบสตาร์

1. ต่อแบบเดลต้า (Delta Connection) เป็นการต่อขดลวดให้เป็นรูปสามเหลี่ยมลักษณะ ดังรูปที่ 5-6



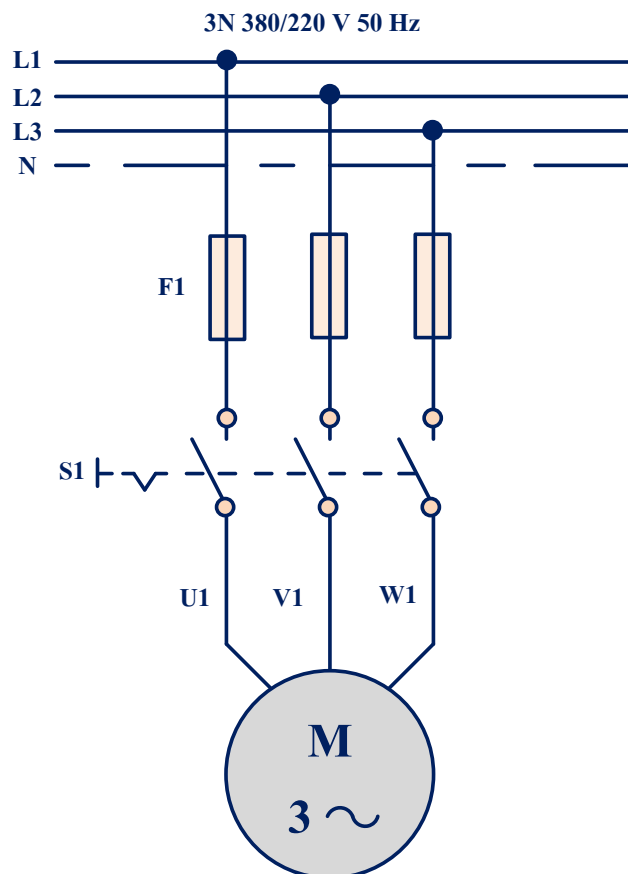
รูปที่ 5-6 การต่อขดลวดและขั้วต่อมอเตอร์แบบเดลต้า

การเริ่มเดินมอเตอร์ด้วยการต่อโดยตรงกับแหล่งจ่าย

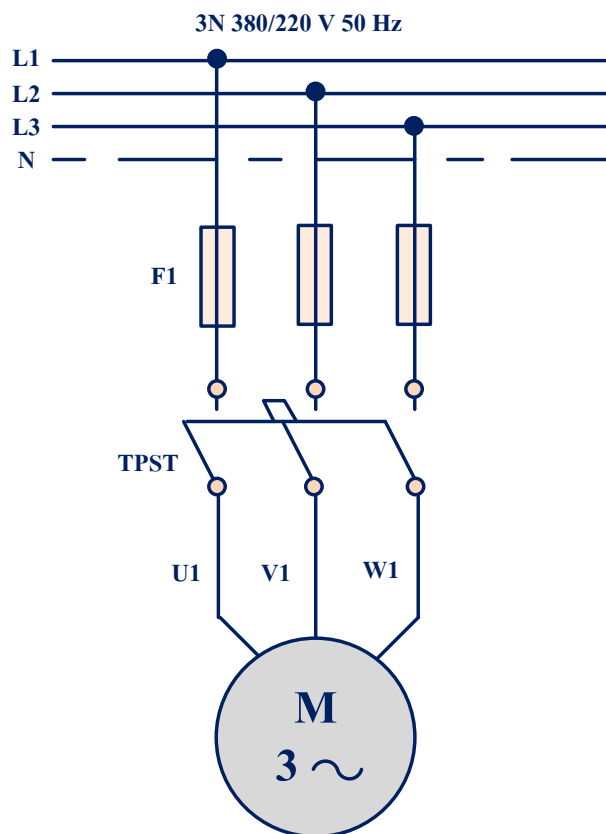
มอเตอร์ที่มีขนาดเล็กกว่า 7.5 แรงม้า (HP) จะต่อโดยตรงกับแหล่งจ่าย (Direct on Line Starter) เนื่องจากมอเตอร์จะกินกระแสไม่สูงมากนัก ดังนั้น ในตอนเริ่มเดินจึงสามารถจ่ายแรงดันเข้ามอเตอร์เท่ากับแรงดันเต็มพิกัด (Full Voltage Motor Controller) แต่การที่จะป้อนแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ให้มอเตอร์นั้นต้องพิจารณาจากตัวมอเตอร์ว่ามีขนาดเท่าไร การต่อขั้วสายอย่างไร และใช้แรงดันไฟฟ้าเท่าใด ซึ่งจะสามารถดูที่แผ่นป้าย (Name Plate) ของมอเตอร์ตัวนั้น เช่นมอเตอร์ตัวหนึ่งที่แผ่นป้าย

กำหนดเป็น , 220/380 V, 3 แสดงว่ามอเตอร์ตัวนี้ต่อแบบเดลต้า เมื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 V 3 เฟส และต่อแบบสตาร์ เมื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้า 380 V 3 เฟส สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการเริ่มเดินมอเตอร์ 3 เฟส ได้แก่

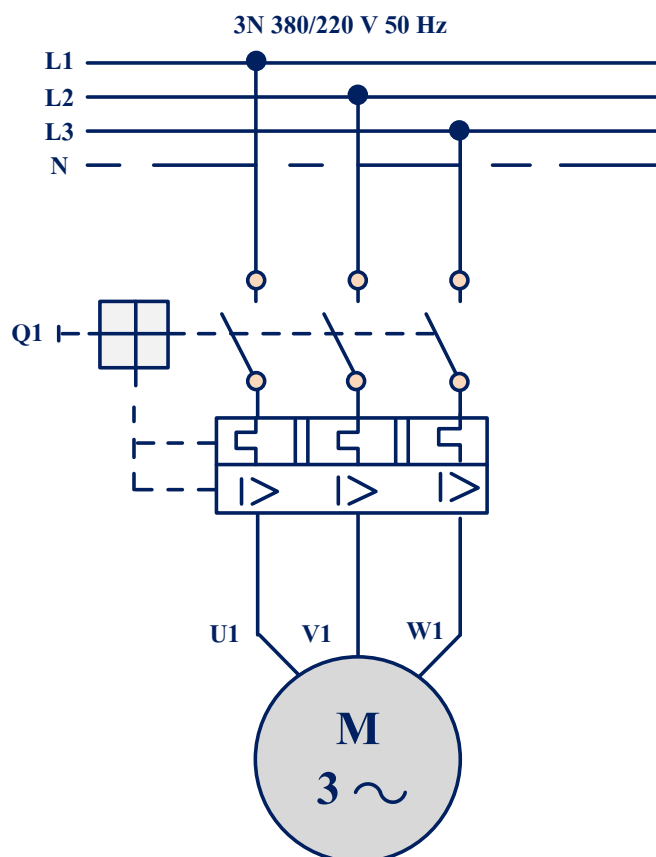
- สวิตช์ ON – OFF
- สวิตช์ 3 ขั้ว สับ 1 ทาง
- มอเตอร์เบรกเกอร์ หรือสวิตช์อัตโนมัติ
- แมกเนติกคอนแทคเตอร์



รูปที่ 5-7 วงจรเริ่มหมุนมอเตอร์ 3 เฟส ด้วย ON – OFF Switch



รูปที่ 5-8 วงจรเริ่มหมูนมอเตอร์ 3 เฟส ด้วยสวิตช์ 3 ขั้ว สับ 1 ทาง



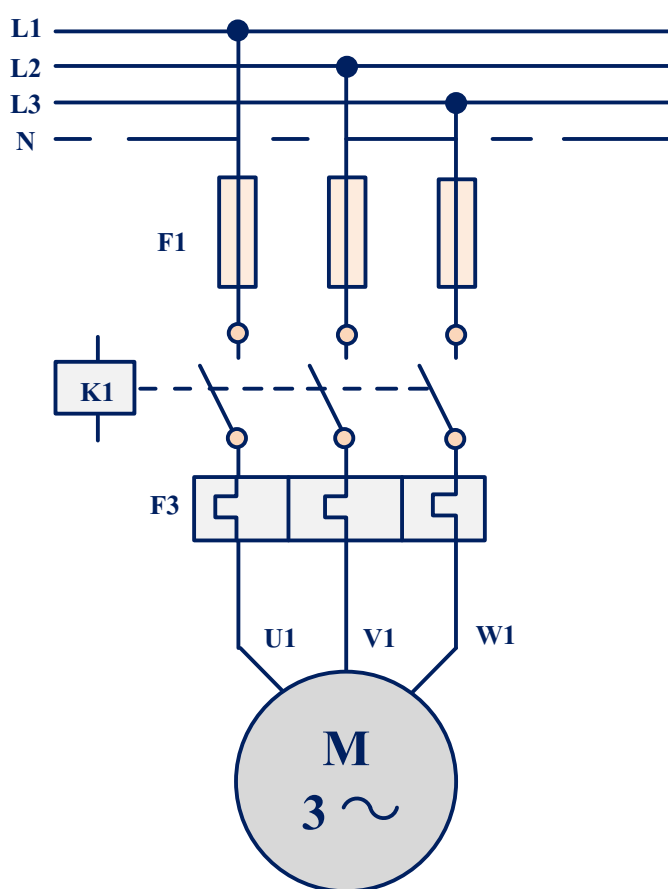
รูปที่ 5-9 วงจรเริ่มหมูนมอเตอร์ 3 เฟส ด้วย Motor Breaker

การเริ่มต้นด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

การเริ่มต้นมอเตอร์ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์จะประกอบด้วยวงจร 2 ส่วน คือ

1. วงจรกำลัง เรียกอีกอย่างว่าวงจรเพาเวอร์ (Power Circuit) ลักษณะดังรูปที่ 5-10 ประกอบด้วย

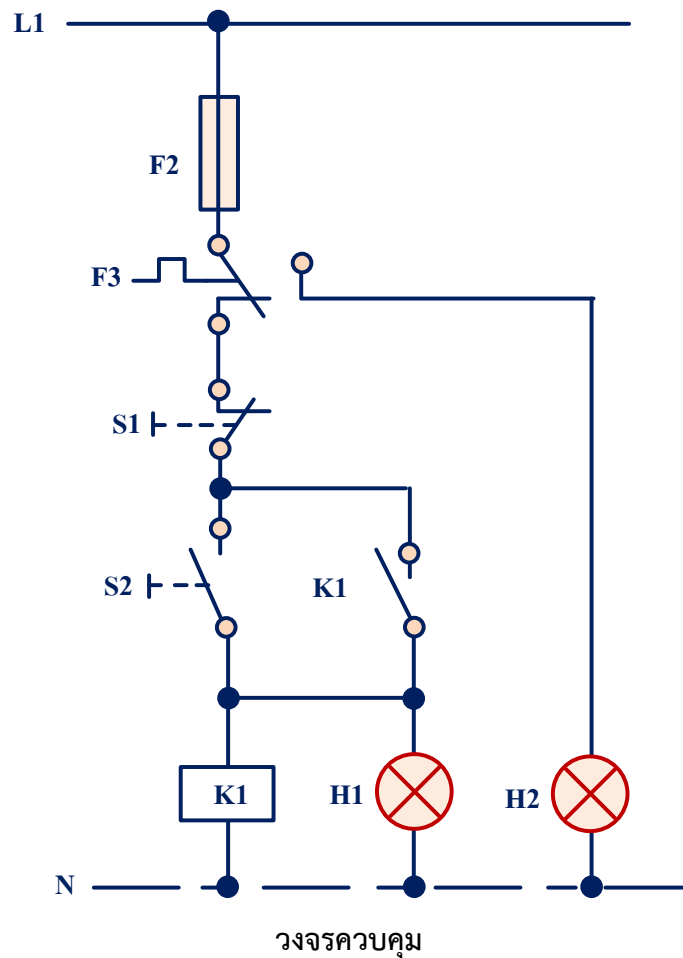
- ฟิวส์กำลัง (F1) ทำหน้าที่ป้องกันสายเมน
- หน้าคอนแทคของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (K1) ทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเกินก่อนที่มอเตอร์จะไหม้
- มอเตอร์ 3 เฟส แบบเหนี่ยวนำ



วงจรกำลัง

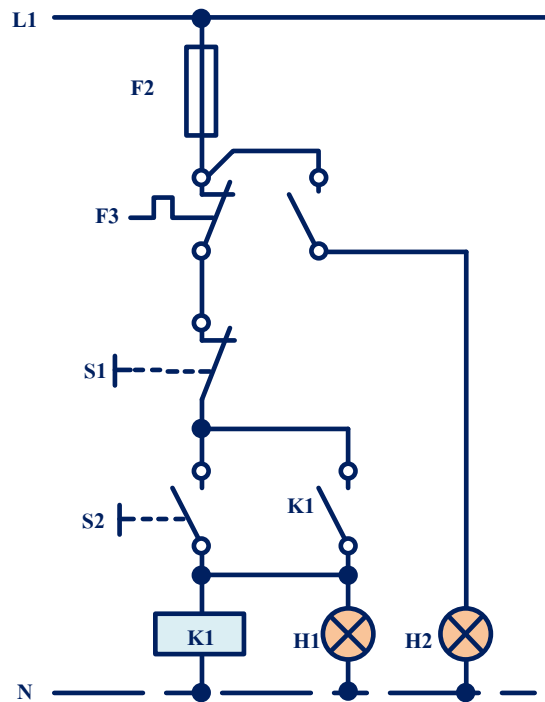
รูปที่ 5-10 วงจรกำลังของการเริ่มต้นมอเตอร์ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

ข. วงจรควบคุม เรียกอีกอย่างว่า วงจรคอนโทรล (Control Circuit) วงจรควบคุมอาจจะมีหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรและจุดประสงค์การใช้งานดังรูปที่ 5-12 แต่องค์ประกอบพื้นฐานที่จะต้องติดตั้งไว้ในวงจรควบคุมได้แก่

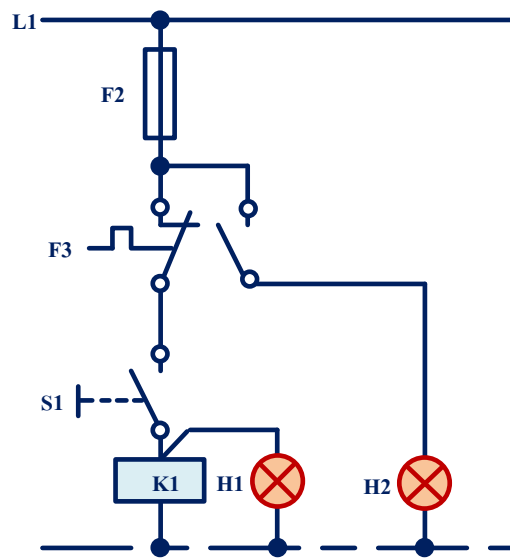


รูปที่ 5-11 วงจรควบคุมของการเริ่มหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

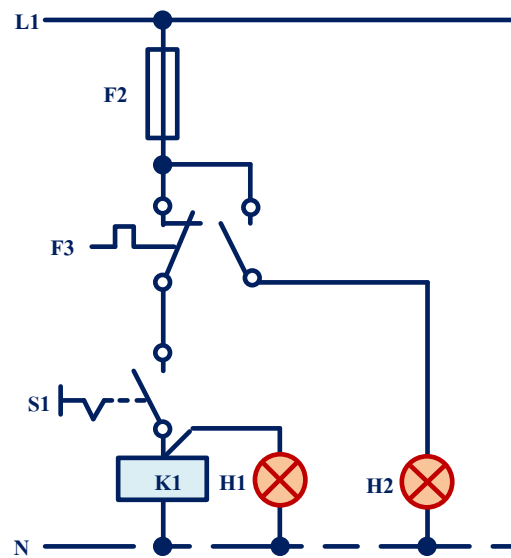
- ฟิวส์ควบคุม (F2) ทำหน้าที่ป้องกัน (Protection) วงจรควบคุมทั้งหมด
- หน้าคอนแทคของโอเวอร์โวลต์รีเลย์ (F3) ทำหน้าที่ตัดวงจรควบคุม เพื่อให้มอเตอร์หยุดทำงาน
- คอยล์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (K1) ทำหน้าที่เป็นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟเข้าคอยล์ จะทำให้น้ำคอนแทคเปลี่ยนไปตรงกันข้ามจาก ON จะเปลี่ยนเป็น NC หรือจาก NC จะเปลี่ยนเป็น ON
- สวิตช์ควบคุม โดยทั่วไปแล้วสวิตช์ที่หน้าคอนแทคปกติปิด (NC) จะใช้เป็นสวิตช์กดยุด (STOP) ส่วนสวิตช์ที่มีหน้าคอนแทคปกติเปิด (NO) จะใช้เป็นสวิตช์กิดเพื่อเริ่มเดินมอเตอร์ (START)
- หลอดสัญญาณ (Pilot Lamp หรือ Signal Lamp) เขียนแทนอักษรตัว H เช่น H1 , H2 ทำหน้าที่เป็นหลอดไฟสัญญาณเพื่อบ่งบอกการทำงานของวงจร เช่น หลอดสีเขียว หมายถึงมอเตอร์กำลังทำงานตามปกติ แต่ถ้าเป็นหลอดสีแดง จะหมายถึงมอเตอร์อยู่ในสภาวะโอเวอร์โวลต์หรือโวลต์เกินจากที่กล่าวข้างต้น รูปแบบการควบคุมที่ใช้โดยทั่วไป จะมี 3 ลักษณะ คือ
 1. วงจรควบคุมแบบใช้สวิตช์ชนิดล็อกค้างตลอด (ON – OFF Switch)
 2. วงจรควบคุมแบบชั่วคราว (Jogging)
 3. วงจรควบคุมแบบใช้คอนแทคช่วย (Auxiliary Contact)



(ก) วงจรควบคุมแบบใช้คอนแทกช่วย
เพื่อล็อกตัวเองให้ทำงานตลอดเวลา



(ข) วงจรควบคุมแบบชั่วขณะ (Jogging)



(ค) วงจรควบคุมแบบใช้สวิตช์ชนิดล็อกค้างตลอด

รูปที่ 5-12 แสดงวงจรควบคุมการเริ่มต้น และหยุดทำงานด้วยการต่อโดยตรงกับแหล่งจ่าย

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์		
สาระสำคัญ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้หมายถึงการควบคุมมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำโรเตอร์กรงกระรอก เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่คงทน ดูแลรักษาง่าย ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยคอนแทคเตอร์ การเริ่มเดิน การหยุดและการกลับทางหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยใช้อุปกรณ์ชนิดต่างๆ เรื่องที่จะศึกษา 1.การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.2 การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ จุดประสงค์การเรียนรู้ 1. รู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1 อธิบายวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ควบคุมแบบต่าง ๆ ได้ 1.2 เขียนวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้ 1.3 อธิบายวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์แบบลดแรงดันไฟฟ้าได้ 1.4 แกะไขวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้		

5.2 การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. มอเตอร์แบบซิงโครนัส (Synchronous Motor)
2. มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Motor)
 - 2.1 แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor)
 - 2.2 แบบโรเตอร์พันขดลวด (Wound Rotor)

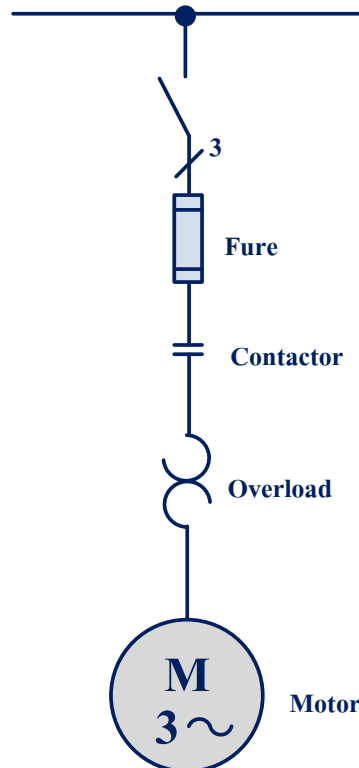
การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะหมายถึงการควบคุมมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ โรเตอร์กรงกระรอก เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่คงทน ดูแลรักษาง่าย ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการเขียนแบบ วงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยคอนแทคเตอร์ การเริ่มเดิน การหยุดและการกลับทางหมุน มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส โดยใช้อุปกรณ์ชนิดต่างๆ

5.2.1 การเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

การเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ แบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

1. วงจรสายเดี่ยว (One Line Diagram)

จะเขียนแสดงการทำงานของวงจรกำลัง แต่จะเขียนด้วยเส้นเพียงเส้นเดียว ดังนั้นผู้ที่แปล ความหมายของวงจรชนิดนี้ จะต้องมีความเข้าใจพอสมควร



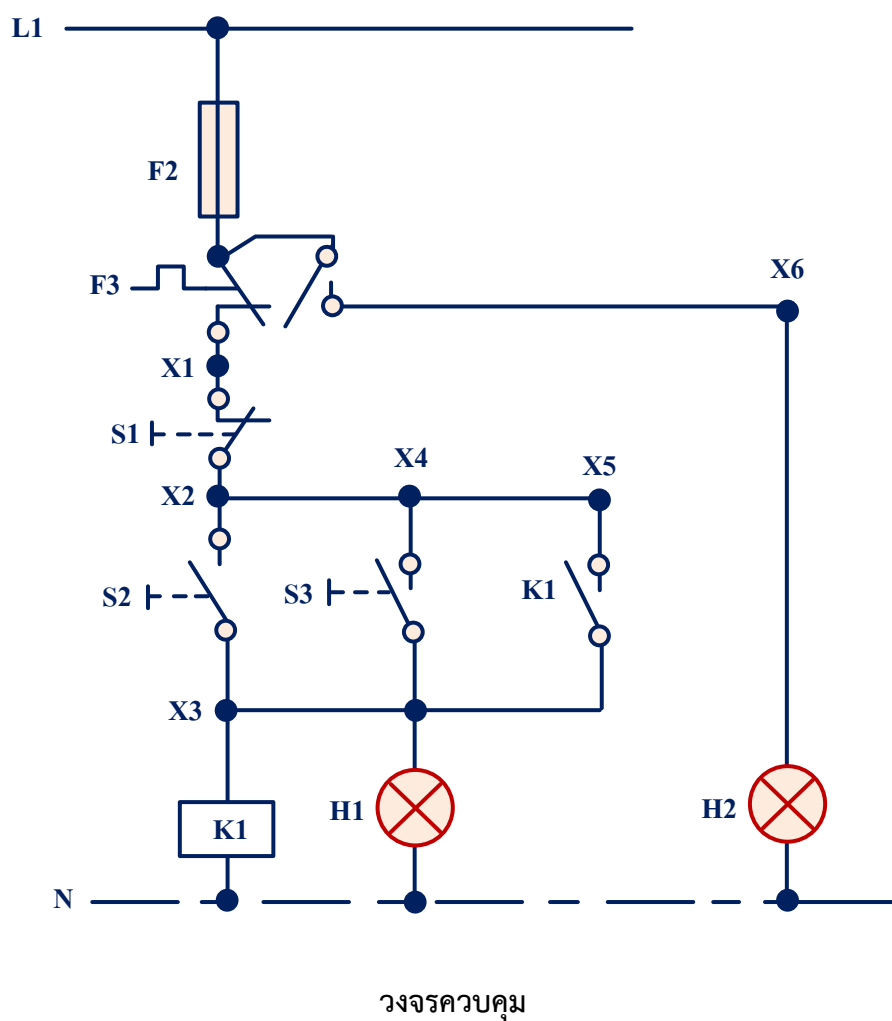
รูปที่ 5-13 วงจรสายเดี่ยว

2. วงจรแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)

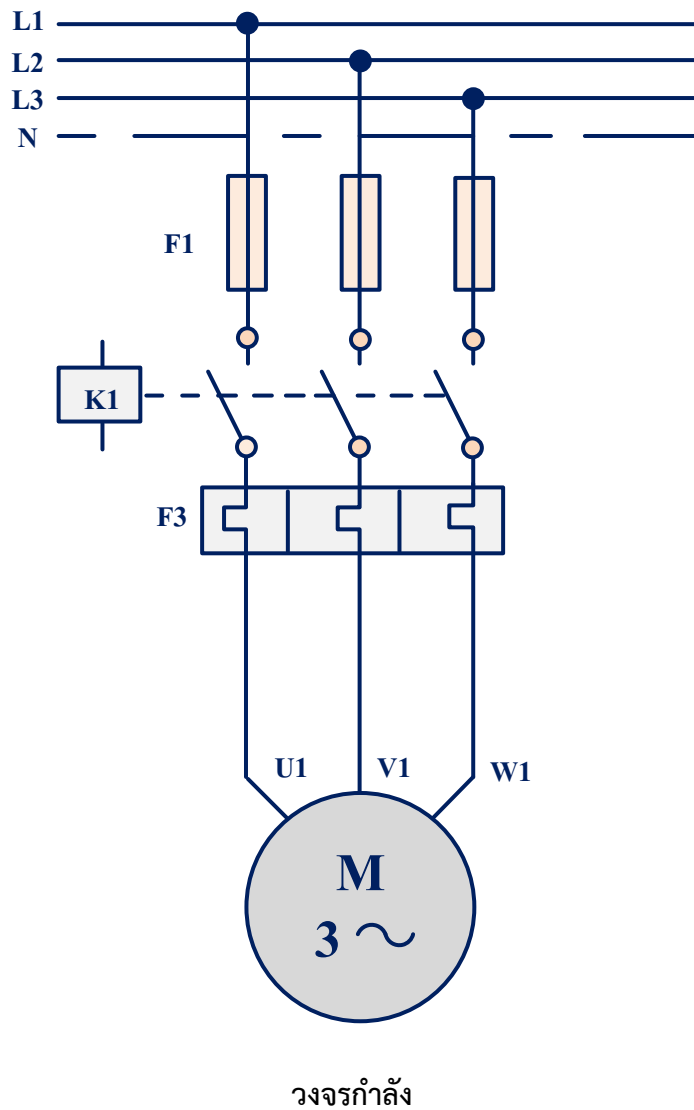
แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 วงจร คือ

- **วงจรกำลัง** (Power Circuit) จะเขียนแสดงรายละเอียดเฉพาะวงจรกำลังเท่านั้น (ส่วนของวงจรที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจำนวนมาก)

- **วงจรควบคุม** (Control Circuit) จะเขียนแสดงรายละเอียดการทำงานของส่วนวงจรควบคุมเท่านั้น อุปกรณ์หลัก คือ แมกเนติกคอนแทคเตอร์ ไทม์เมอร์รีเลย์ (รีเลย์หน่วงเวลา) และ สวิตช์ปุ่มกด เป็นต้น การเขียนแบบวงจรควบคุมจะเรียงลำดับจากซ้ายไปขวามีตัวเลขกำกับบอกจำนวนแถว เช่น แถวที่ 1,2,3



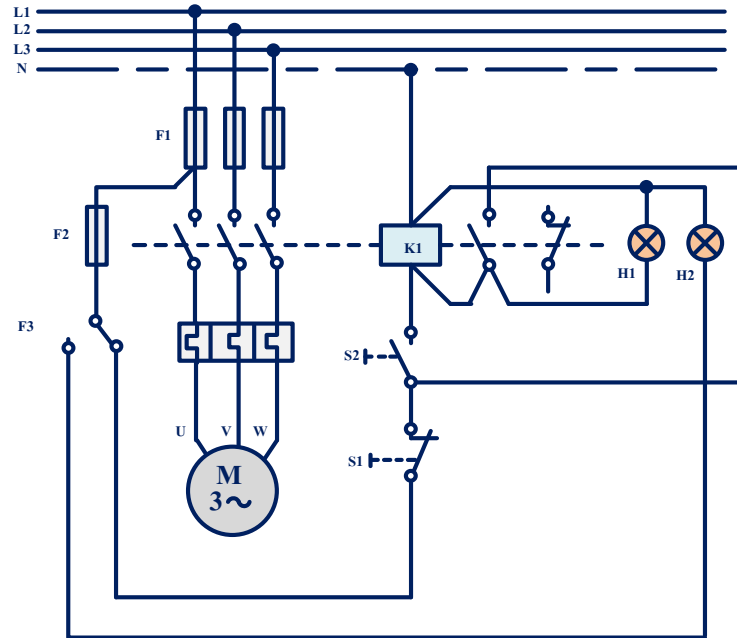
รูปที่ 5-14 ก.วงจรแสดงการทำงานของวงจรควบคุม



รูปที่ 5-14 ข. วงจรแสดงการทำงานของวงจรกำลัง

3. แบบงานจริง (Working Diagram)

เป็นการเอาวางจรกำลังและวงจรควบคุมใน Schematic Diagram เข้าไว้ด้วยกัน การเขียนจึงมีลักษณะคล้ายงานจริง แต่จะเขียนโดยใช้สัญลักษณ์



รูปที่ 5-15 แบบงานจริง

4. วงจรประกอบการติดตั้ง (Constructional Wiring Diagram)

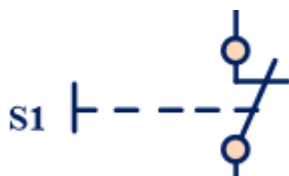
ในสภาพความเป็นจริงแล้วอุปกรณ์แต่ละอย่างจะอยู่คนละที่กัน นั่นคือ ระบบควบคุมจะติดตั้งไว้ในตู้ที่มีฝาปิด แต่ว่าตัวมอเตอร์จะติดตั้งไว้ภายนอก ลักษณะเช่นนี้จึงต้องมีการโยงสายเชื่อมต่อเข้าหากันโดยใช้ขั้วต่อสาย (Terminal) เช่นที่ขั้วต่อสาย X2 จุดที่ 6 จะต่อกับขั้วต่อสาย X3 จุดที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาที่ขั้วต่อสาย X2 จุดที่ 4 และ 5 จะเป็นจุดเดียวกัน จึงรวมกันได้ เช่นเดียวกับขั้วต่อสาย X3 จุดที่ 5 และ 6

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบโดยตรง ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์		
สาระสำคัญ มอเตอร์สามเฟสมีขดลวดสามชุด แต่ละชุดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันระบบ 3 เฟส และสามารถทำการกลับทางหมุนได้โดยการสลับปลายสายที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟสคู่ใดคู่หนึ่งการเลือกวิธีการกลับทางหมุนขึ้นอยู่กัลักษณะงาน และชนิดของมอเตอร์ การกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสด้วยคอนแทคเตอร์ที่นิยมกันโดยทั่วไป มี 3 แบบขึ้นอยู่กัลักษณะการใช้งาน คือ 1. วงจรกลับทางหมุนมอเตอร์โดยตรง 2. วงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ 3. วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง เรื่องที่จะศึกษา 1. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1. การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบโดยตรง ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ จุดประสงค์การเรียนรู้ 2. รู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 2.1. บอกประเภทของการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 2.2. อธิบายวิธีการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 2.3. อธิบายข้อแตกต่างของการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบโดยตรง ได้ 2.4. อธิบายลักษณะของการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบโดยตรง ได้ถูกต้อง 2.5. อธิบายการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบโดยตรง ได้ถูกต้อง 2.6. วิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของการขัดข้องในวงจรควบคุมได้ถูกต้อง		

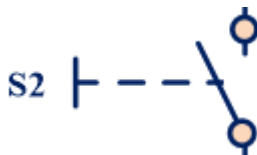
5.3 การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบโดยตรงด้วย แมกเนติกคอนแทคเตอร์

การกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสทำได้โดยการกลับขั้วสายของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับสายจ่ายกำลัง 3 เฟสใดคู่หนึ่งเพียงคู่เดียว วิธีการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสทำได้โดยการสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ ส่วนอีกเส้นหนึ่งต่อไว้เหมือนเดิม ลักษณะการกลับทางหมุนแบบกลับทางหมุนโดยตรงหมายถึง วงจรสามารถทำการกลับทางหมุนมอเตอร์ได้ทันทีตลอดเวลาที่มอเตอร์ทำการหมุนอยู่ โดยการกดสวิทช์ S2 หรือ S3 และเมื่อต้องการหยุดมอเตอร์ก็สามารถทำได้โดยการกดสวิทช์ S1 (OFF)

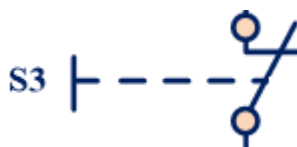
5.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบโดยตรง



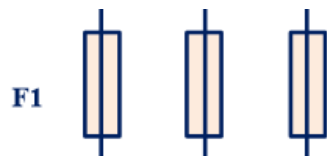
1. สวิทช์ปุ่มกดสีแดงปกติปิด 1 ตัว = S1 (Push Button switch N.C.)



2. สวิทช์ปุ่มกดสีเขียวปกติเปิด 1 ตัว = S2 (Push Button switch N.O.)



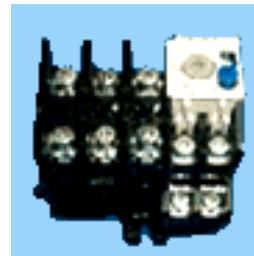
3. สวิทช์ปุ่มกดสีเหลืองปกติปิด 1 ตัว = S3 (Push Button switch N.C.)



4. คาร์ทรีคฟิวส์ วงจรกำลัง 3 ตัว = F1 (Power Fuse)



5. คาร์ทรีคฟิวส์ วงจรควบคุม 1 ตัว = F2 (Control Fuse)



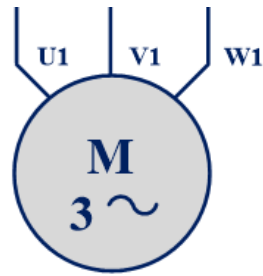
6. โอเวอร์โวลต์รีเลย์ 3 เฟส 2 ตัว = F3



7. คอนแทคเตอร์หมุนขวา = K1 (Forward Contactortor)



8. คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย = K2 (Reverse Contactortor)

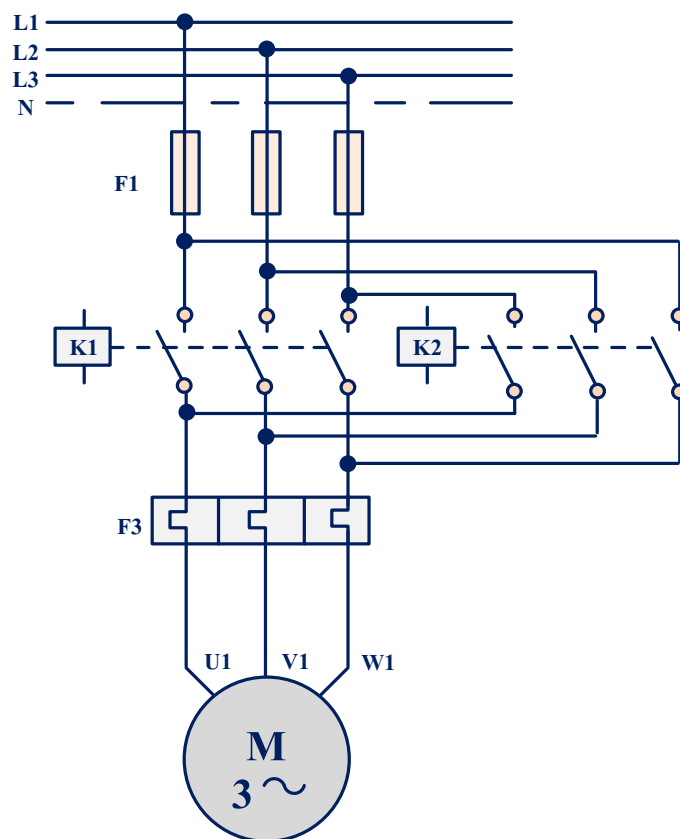


9. มอเตอร์ 3 เฟส=M1 (3 Phase Induction Motor)

5.3.2 ความหมายสัญลักษณ์อักษรกำกับวงจร

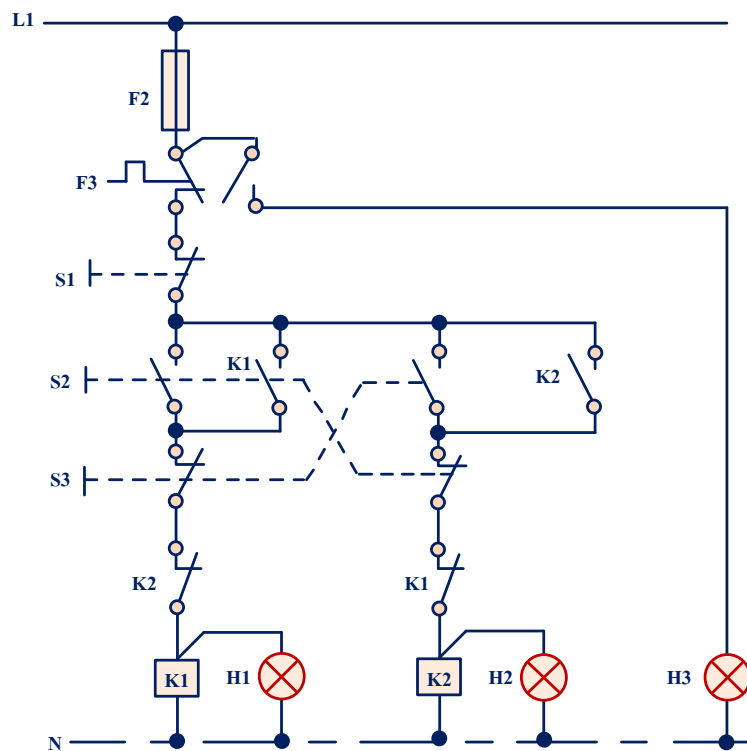
สัญลักษณ์	ความหมาย
S1	สวิตช์ปุ่มกดหยุดเดินมอเตอร์ (Push Button Stop switch)
S2	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนขวา (Forward Start switch)
S3	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนซ้าย (Reversing Start switch)
F1	ฟิวส์ป้องกันวงจรกำลัง (Power Fuse)
F2	ฟิวส์ป้องกันวงจรควบคุม (Control Fuse)
F3	อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (Overload Relay)
K1	คอนแทคเตอร์หมุนขวา (Forward Contactortor)
K2	คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย (Reverse Contactortor)
M1	มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)

5.3.3 วงจรและหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุน



รูปที่ 5-16 ก. วงจรกำลังของการต่อวงจรการกลับทางหมุน 3 เฟส แบบทันทีทันใด
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

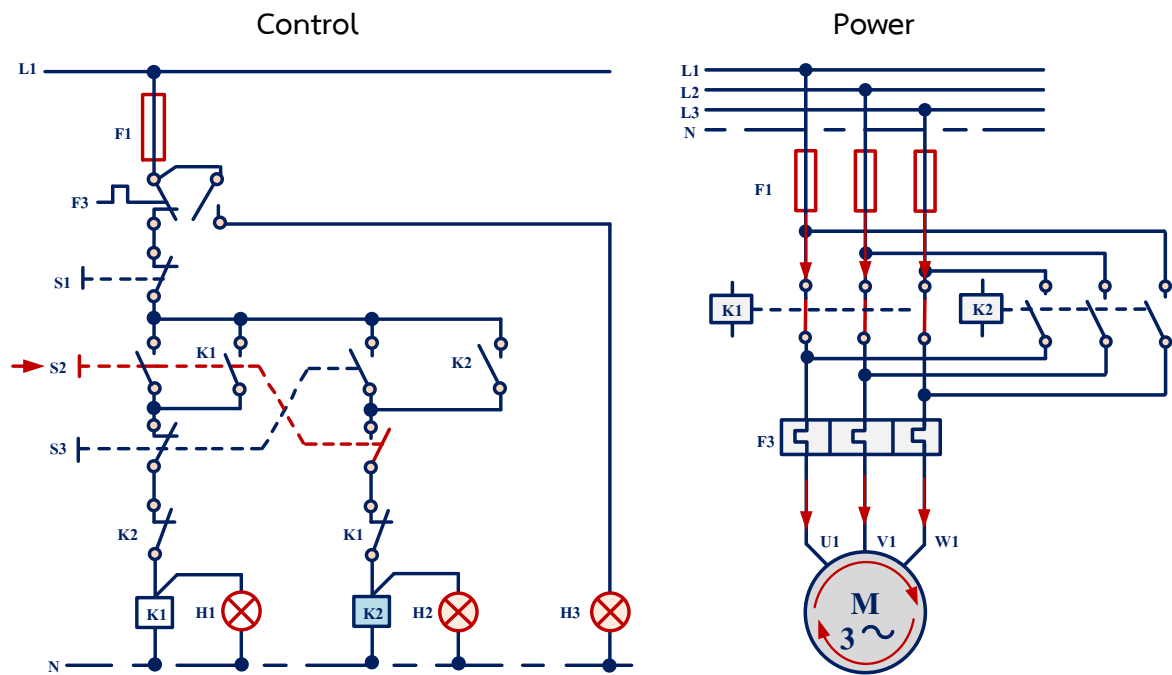
หลักการวงจรกำลังการกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสนั้นทำได้โดยการสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งเข้ามอเตอร์ ส่วนอีกเส้นหนึ่งต่อไว้ดังเดิมในการกลับทางหมุน ในงานควบคุมจำเป็นต้องเอาคอนแทคเตอร์มาช่วยในการสลับสายให้มอเตอร์กลับทางหมุน ดังนี้ คอนแทคเตอร์ K1 ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา คอนแทคเตอร์ K2 ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้าย ในวงจรกำลังคอนแทคเตอร์สองตัวจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ถ้าทำงานพร้อมกันจะเกิดการลัดวงจรระหว่าง L1 กับ L3 ดังนั้นคอนแทคเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอยู่อีกตัวต้องหยุดทำงาน การป้องกันไม่ให้คอนแทคเตอร์ K1 และ K2 ทำงานพร้อมกัน ทำได้โดยต่อคอนแทคปกติปิด ไว้ก่อนเข้าขดลวดของคอนแทคเตอร์สลับกัน ซึ่งเรียกว่า Interlocked contactor



รูปที่ 5-16 ข. วงจรควบคุมของการต่อวงจรการกลับทางหมุน 3 เฟส แบบทันทีทันใด
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

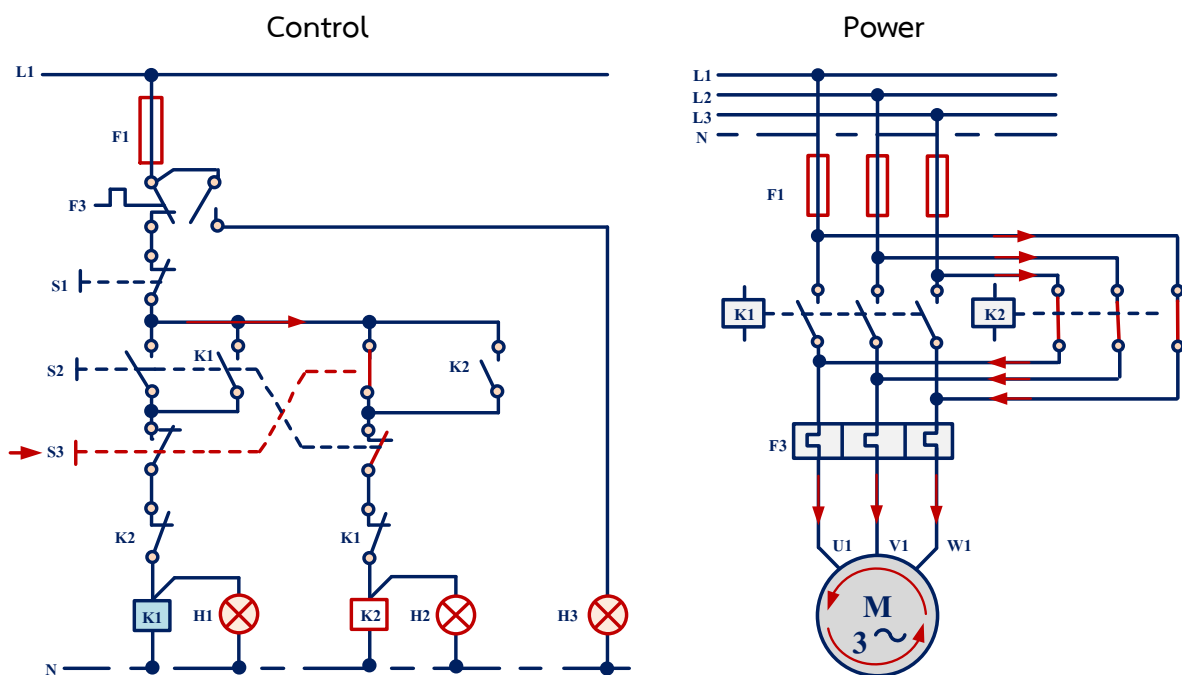
ขั้นตอนการทำงาน

1. กดสวิทช์ S2 คอนแทคเตอร์ K1 ทำงานหมุนขวา คอนแทคปกติปิดของ K1 ในแถวที่ 3 ตัดวงจร ไม่มีกระแสไหลไปยังคอนแทคเตอร์ K2 คอนแทคเตอร์ K2 จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อคอนแทคเตอร์ K1 หยุดทำงาน



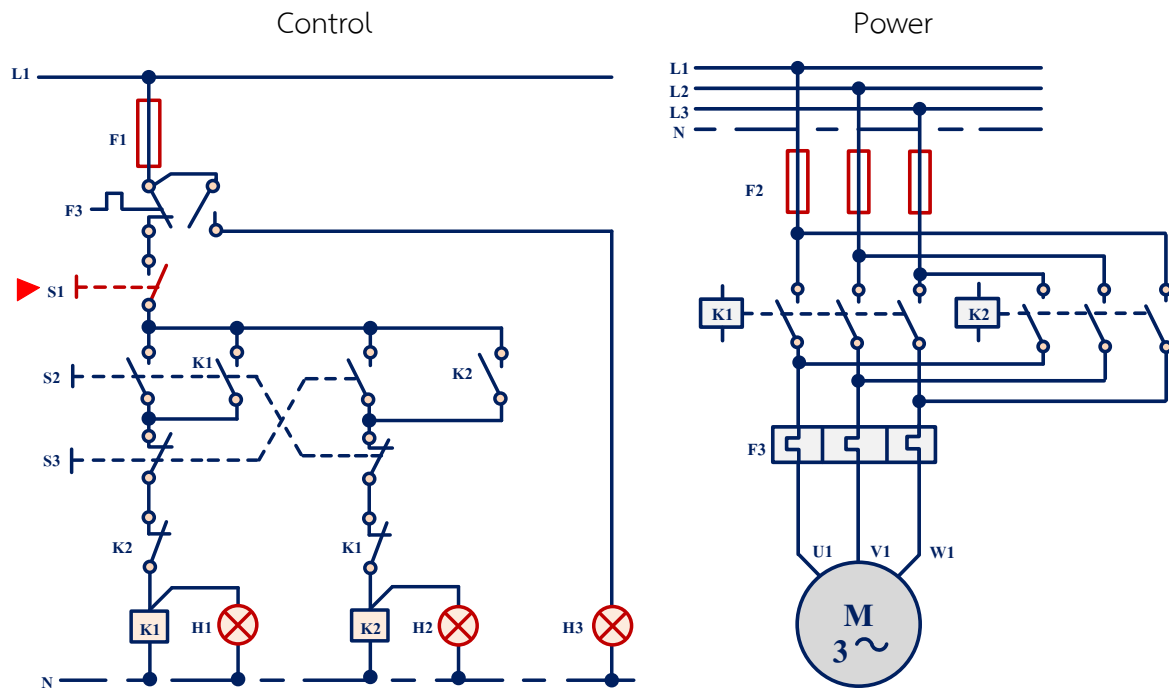
รูปที่ 5-17 ก. สภาวะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิทช์ S2

2. การเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์จากหมุนขวาเป็นหมุนซ้าย จะเปลี่ยนเลยได้ต้องกด S3 เลยจะกับทางหมุนของมอเตอร์ทันที



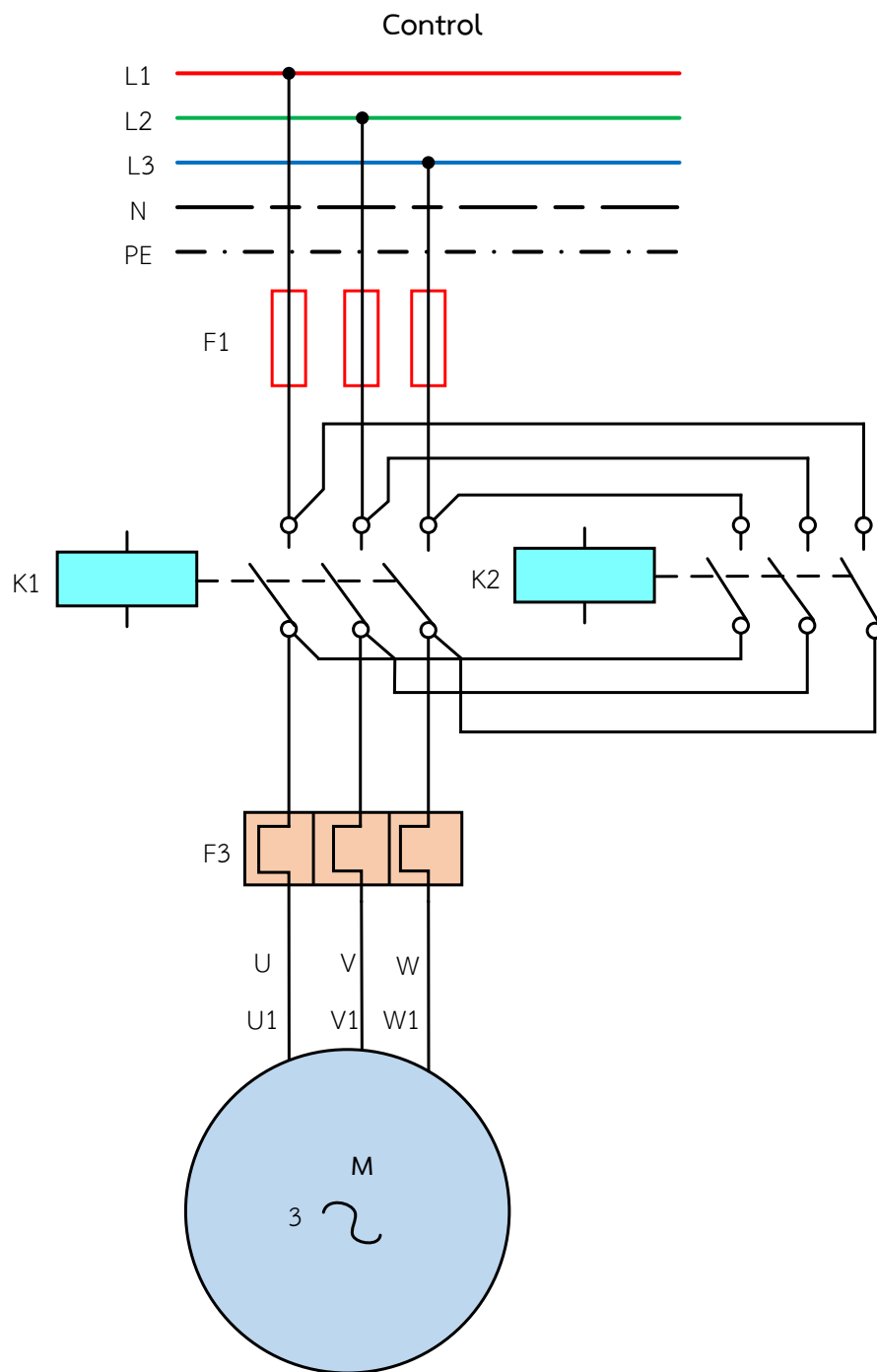
รูปที่ 5-17 ข. สภาวะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิทช์ S3

3. เมื่อทำการกด S1 คอนแทคเตอร์ K1 หรือ K2 หยุดการทำงาน จะให้มอเตอร์หมุนซ้ำหรือหมุน
 ขวาหยุดทำงาน

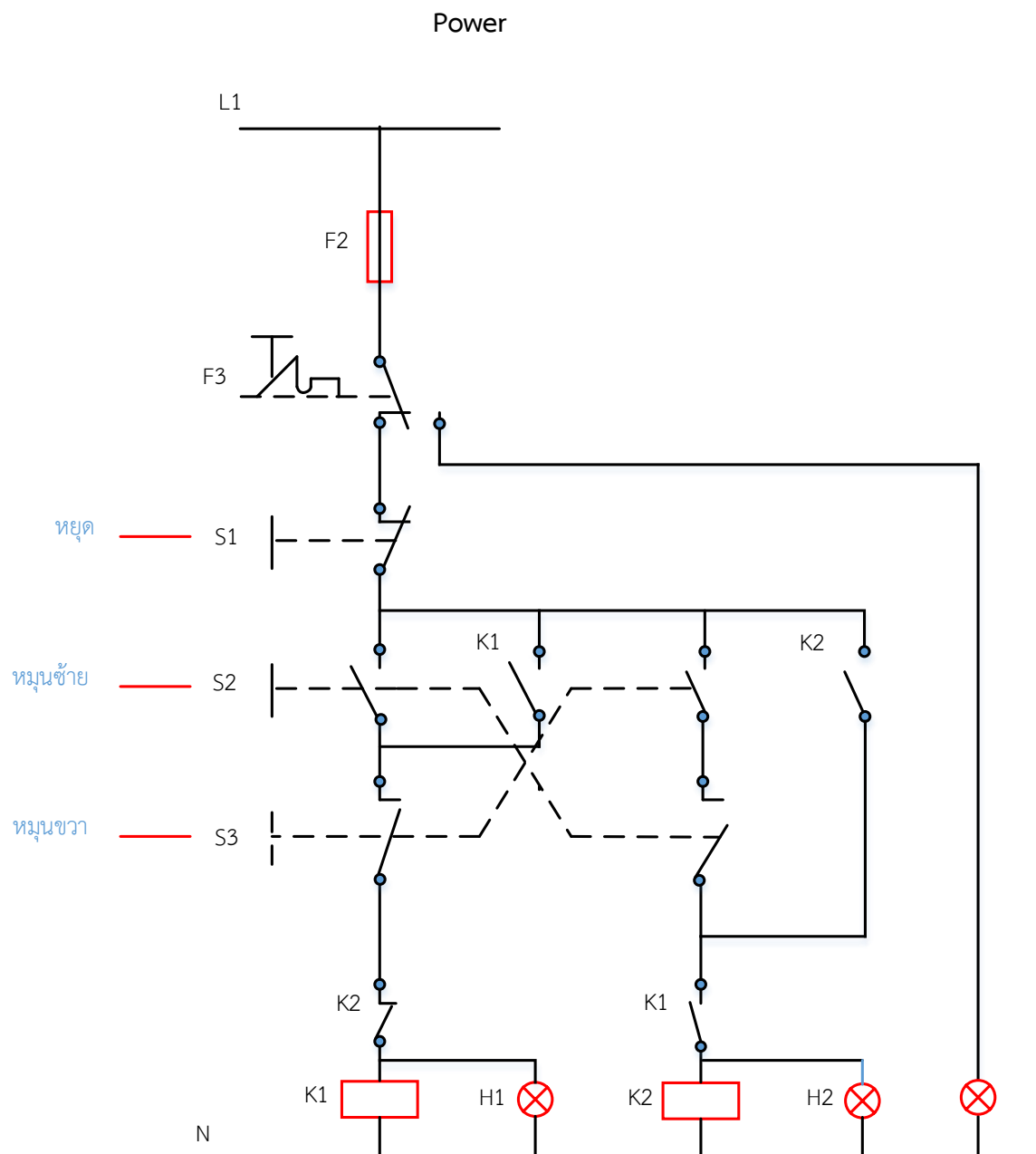


รูปที่ 5-17 ค. สภาวะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ S1

4. ถ้าหากกดสวิตช์ S2 และ S3 พร้อมกัน ตัวคอนแทคเตอร์ตัวใดที่ได้รับกระแสก่อนจะทำงานก่อน
 คอนแทคเตอร์ทั้งสองไม่มีโอกาสทำงานพร้อมกันได้เพราะมีคอนแทคช่วยสลับกันตัด เราเรียกว่ามี Interlock
 ซึ่งกันและกัน



รูปที่ 5-17 ง. วงจรการกลับทางหมุน 3 เฟส แบบทันทีทันใด ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์
(ที่มา: <http://www.lpc.rmutl.ac.th>)



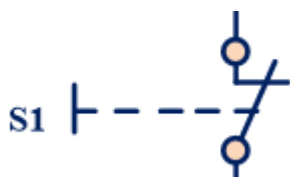
รูปที่ 5-17 ง.(ต่อ) วงจรการกลับทางหมุน 3 เฟส แบบทันทีทันใด ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์
(ที่มา: <http://www.lpc.rmutl.ac.th>)

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบ กลับทางหมุน หลังจากหยุดมอเตอร์ (Reversing after stop) ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์		
สาระสำคัญ มอเตอร์สามเฟสมีขดลวดสามชุด แต่ละชุดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันระบบ 3 เฟส และสามารถทำการกลับทางหมุนได้โดยการสลับปลายสายที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟสชุดใดชุดหนึ่งการเลือกวิธีการกลับทางหมุนขึ้นอยู่กัลักษณะงาน และชนิดของมอเตอร์ การกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสด้วยคอนแทคเตอร์ที่นิยมกันโดยทั่วไป มี 3 แบบขึ้นอยู่กัลักษณะการใช้งาน คือ 1. วงจรกลับทางหมุนมอเตอร์โดยตรง 2. วงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ 3. วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง		
เรื่องที่จะศึกษา 1. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1.การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบ กลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ (Reversing after stop) ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์		
จุดประสงค์การเรียนรู้ 1. รู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1 บอกประเภทของการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 1.2 อธิบายวิธีการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 1.3 อธิบายข้อแตกต่างของการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบ กลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ได้ 1.4 อธิบายลักษณะของการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ได้ถูกต้อง 1.5 อธิบายการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ได้ถูกต้อง 1.6 วิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของการขัดข้องในวงจรควบคุมได้ถูกต้อง		

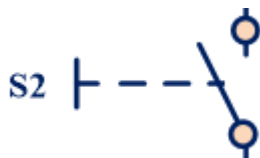
5.4 วงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ (Reversing after stop)

ลักษณะการกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ หมายถึง วงจรจะกลับทางหมุนมอเตอร์ได้ เมื่อทำการหยุดมอเตอร์ก่อนเท่านั้น การเริ่มเดินมอเตอร์จะเริ่มเดินให้หมุนขวาหรือซ้ายก่อนก็ได้ โดยการกดสวิตช์ S2 หรือ S3 และเมื่อต้องการหยุดมอเตอร์ก็สามารถทำได้โดยการกดสวิตช์ S1 (OFF)

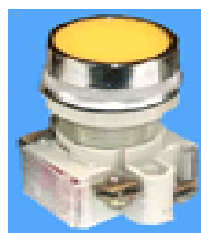
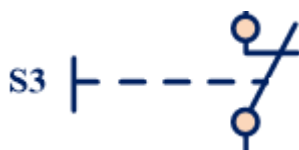
5.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์



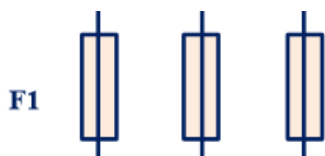
1. สวิตช์ปุ่มกดสีแดงปกติปิด 1 ตัว = S1 (Push Button switch N.C.)



2. สวิตช์ปุ่มกดสีเขียวปกติเปิด 1 ตัว = S2 (Push Button switch N.O.)



3. สวิตช์ปุ่มกดสีเหลืองปกติเปิด 1 ตัว = S3 (Push Button switch N.C.)



4. คาร์ตริคฟิวส์ วงจรกำลัง 3 ตัว = F1 (Power Fuse)



5. คาร์ทริกฟิวส์วงจรควบคุม 1 ตัว = F2 (Control Fuse)



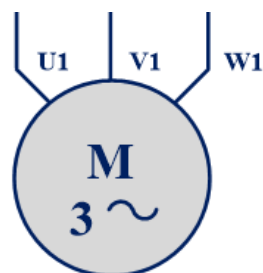
6. โอเวอร์โวลต์รีเลย์ 3 เฟส 2 ตัว = F3



7. คอนแทคเตอร์หมุนขวา = K1 (Forward Contactortor)



8. คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย = K2 (Reverse Contactortor)

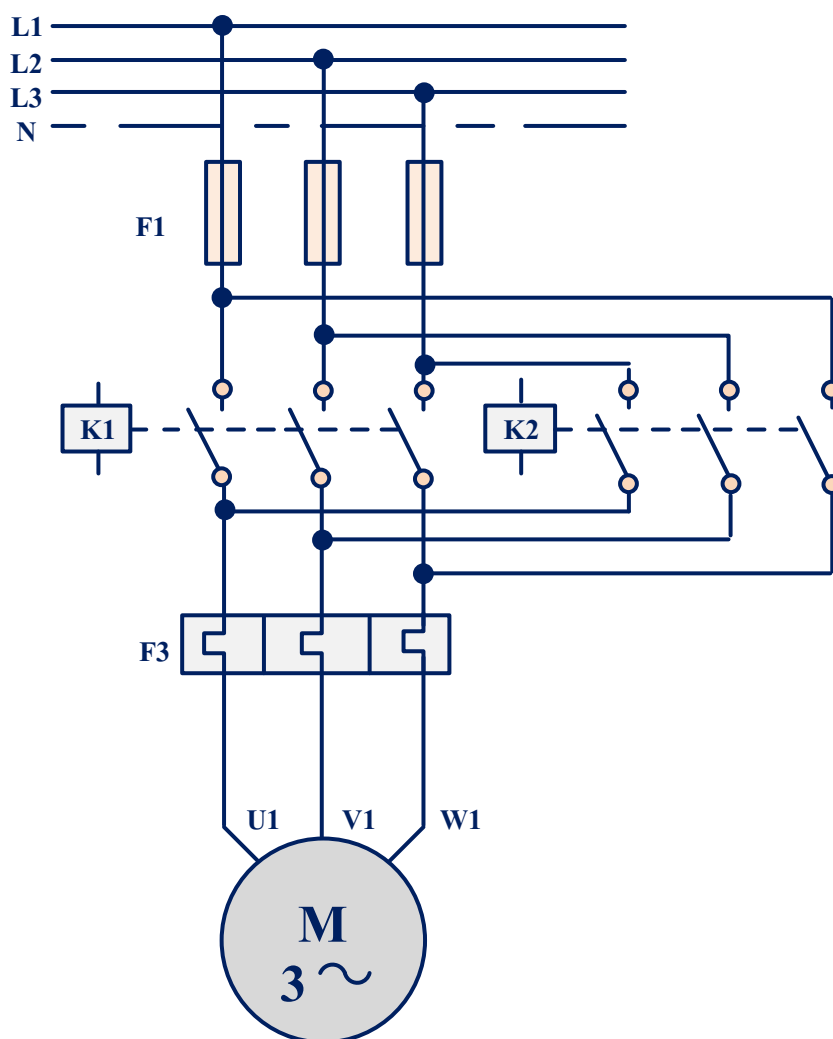


9. มอเตอร์ 3 เฟส=M1 (3 Phase Induction Motor)

ความหมายสัญลักษณ์อักษรกำกับวงจร

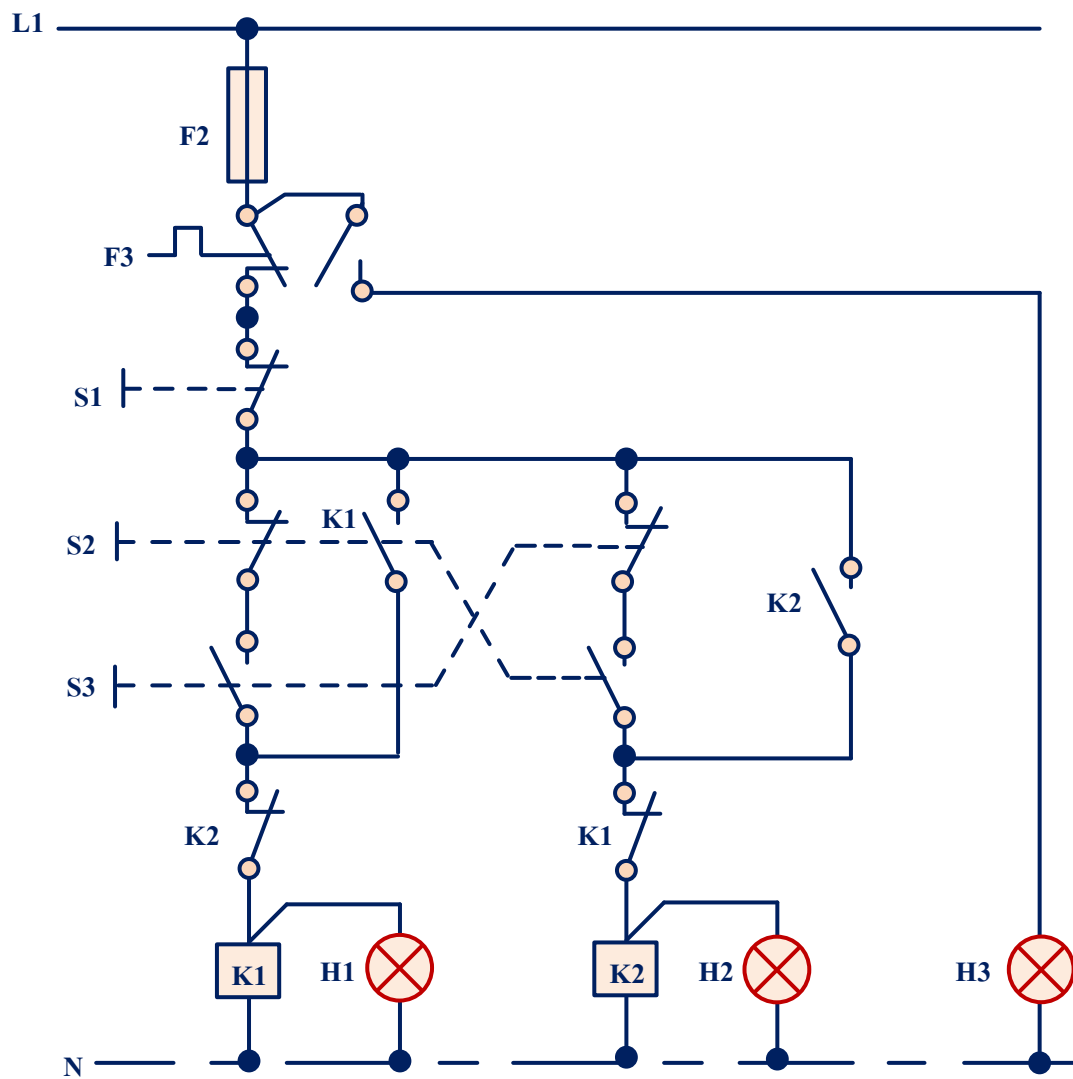
สัญลักษณ์	ความหมาย
S1	สวิตช์ปุ่มกดหยุดเดินมอเตอร์ (Push Button Stop switch)
S2	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนขวา (Forward Start switch)
S3	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนซ้าย (Reversing Start switch)
F1	ฟิวส์ป้องกันวงจรกำลัง (Power Fuse)
F2	ฟิวส์ป้องกันวงจรควบคุม (Control Fuse)
F3	อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (Overload Relay)
K1	คอนแทคเตอร์หมุนขวา (Forward Contactortor)
K2	คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย (Reverse Contactortor)
M1	มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)

5.4.2 วงจรและหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุน



5-18 ก. วงจรกำลัง

หลักการวงจรกำลังการกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในการกลับทางหมุน มอเตอร์ 3 เฟสนั้นทำได้โดยการสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งเข้ามอเตอร์ ส่วนอีกเส้นหนึ่งต่อไว้ดังเดิมในการกลับทางหมุน ในงานควบคุมจำเป็นต้องเอาคอนแทคเตอร์มาช่วยในการสลับสายให้มอเตอร์กลับทางหมุนดังนี้ คอนแทคเตอร์ K1 ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา คอนแทคเตอร์ K2 ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้ายในวงจรกำลังคอนแทคเตอร์สองตัวจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ถ้าทำงานพร้อมกันจะเกิดการลัดวงจรระหว่าง L1 กับ L3 ดังนั้นคอนแทคเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอยู่อีกตัวต้องหยุดทำงาน การป้องกันไม่ให้คอนแทคเตอร์ K1 และ K2 ทำงานพร้อมกัน ทำได้โดยต่อคอนแทคปกติปิดไว้ก่อนเข้า ขดลวดของคอนแทคเตอร์สลับกัน ซึ่งเรียกว่า Interlocked contactor

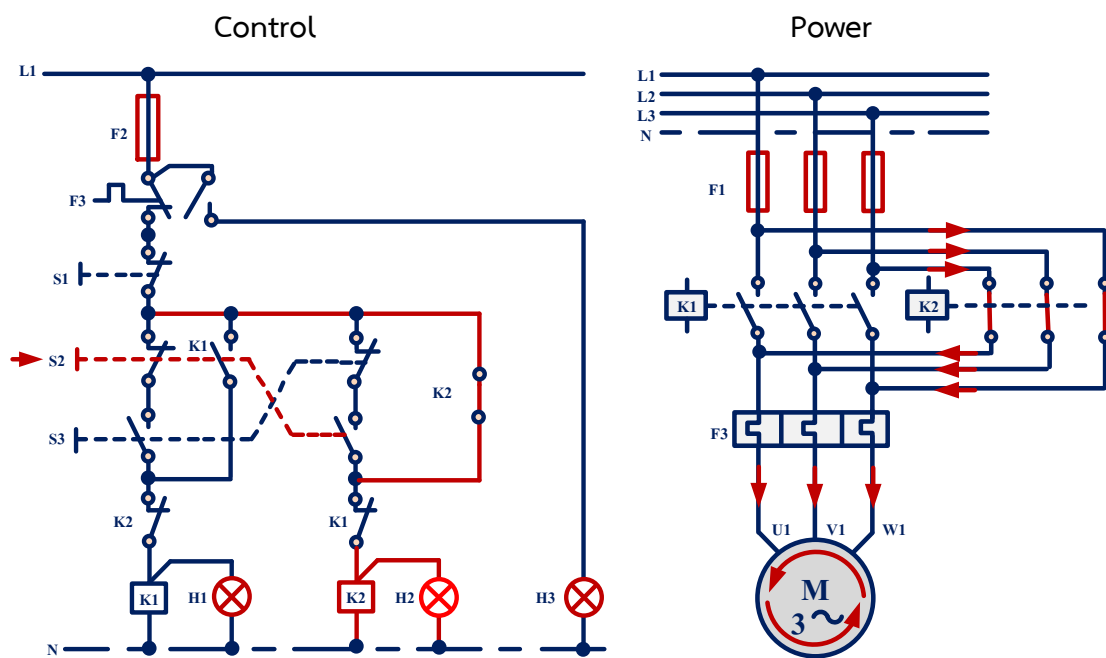


5-18 ข. วงจรควบคุม

รูปที่ 5-18 การต่อวงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ (Reversing after stop)
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

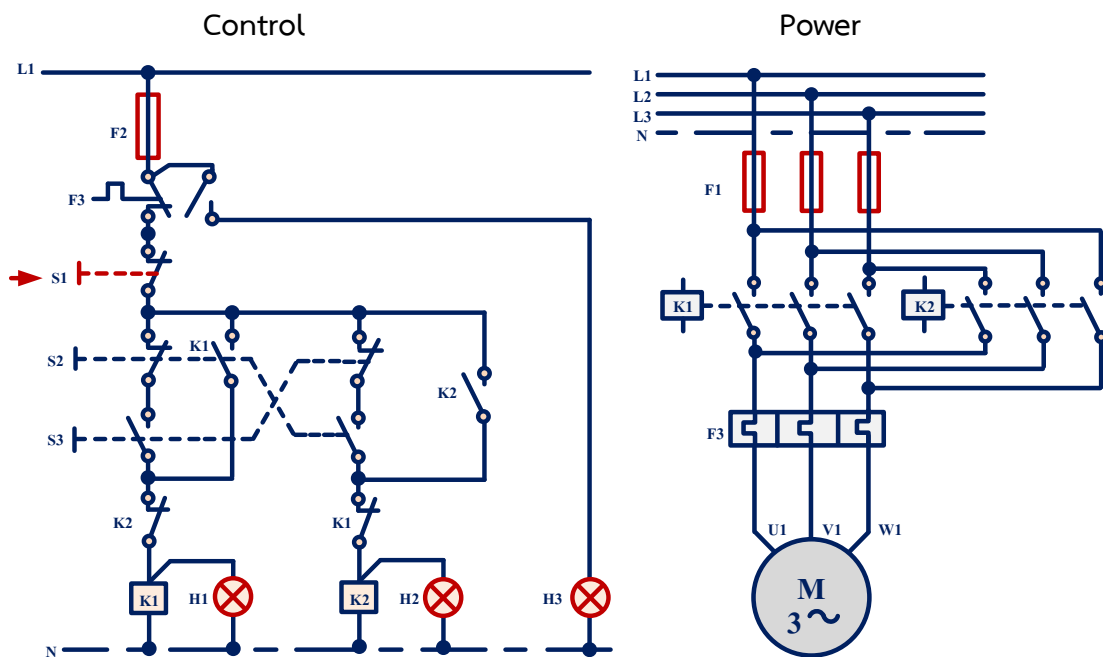
5.4.3 ลักษณะการทำงานของวงจร

1. เมื่อ กด สวิตช์ S2 คอนแทคเตอร์ K2 ทำหน้าที่ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้าย



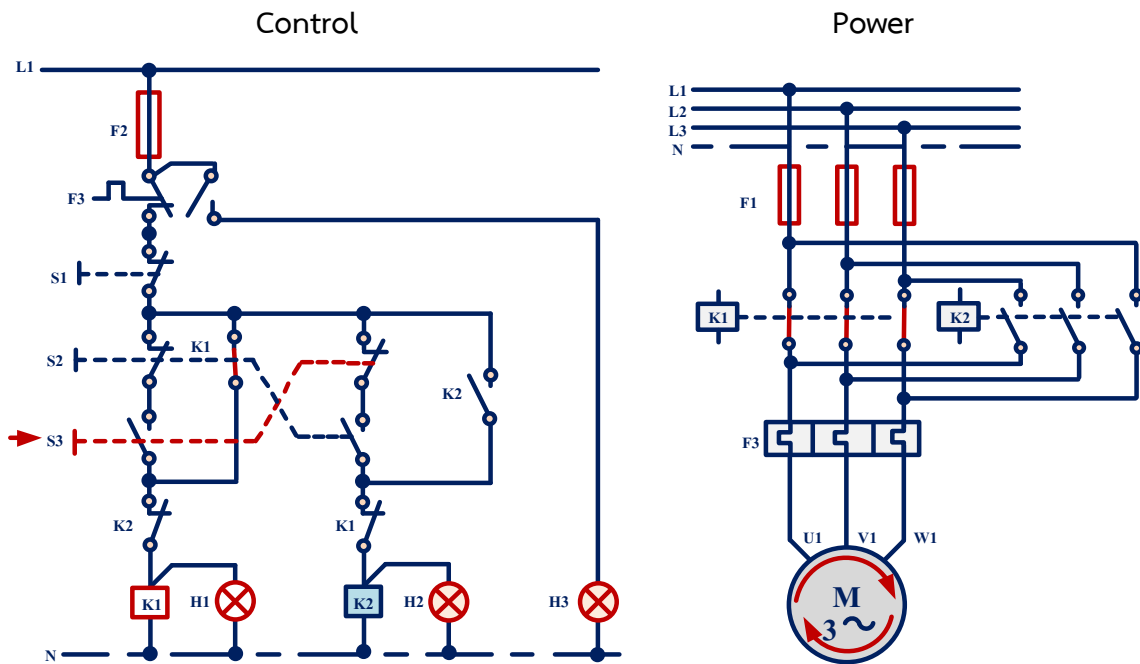
รูปที่ 5-19 ก. สภาวะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ S2

2. เริ่มเดินมอเตอร์ให้หมุนซ้ายหรือขวาก่อนก็ได้โดยการกดสวิตช์ S2 หรือ S3 ในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนอยู่ ไม่สามารถทำการกลับทางหมุนได้ จะต้องทำให้มอเตอร์หยุดหมุนเสียก่อนโดยการกดสวิตช์ S1



รูปที่ 5-19 ข. สภาวะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ S1

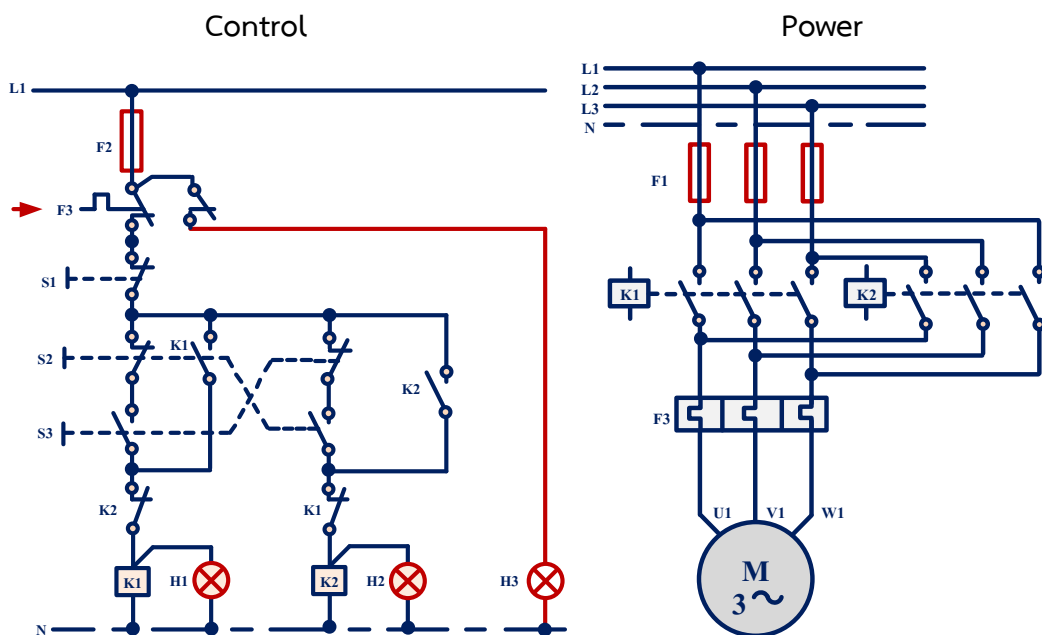
3.) เมื่อ กด สวิตช์ S3 คอนแทกเตอร์ K1 ทำหน้าที่ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา



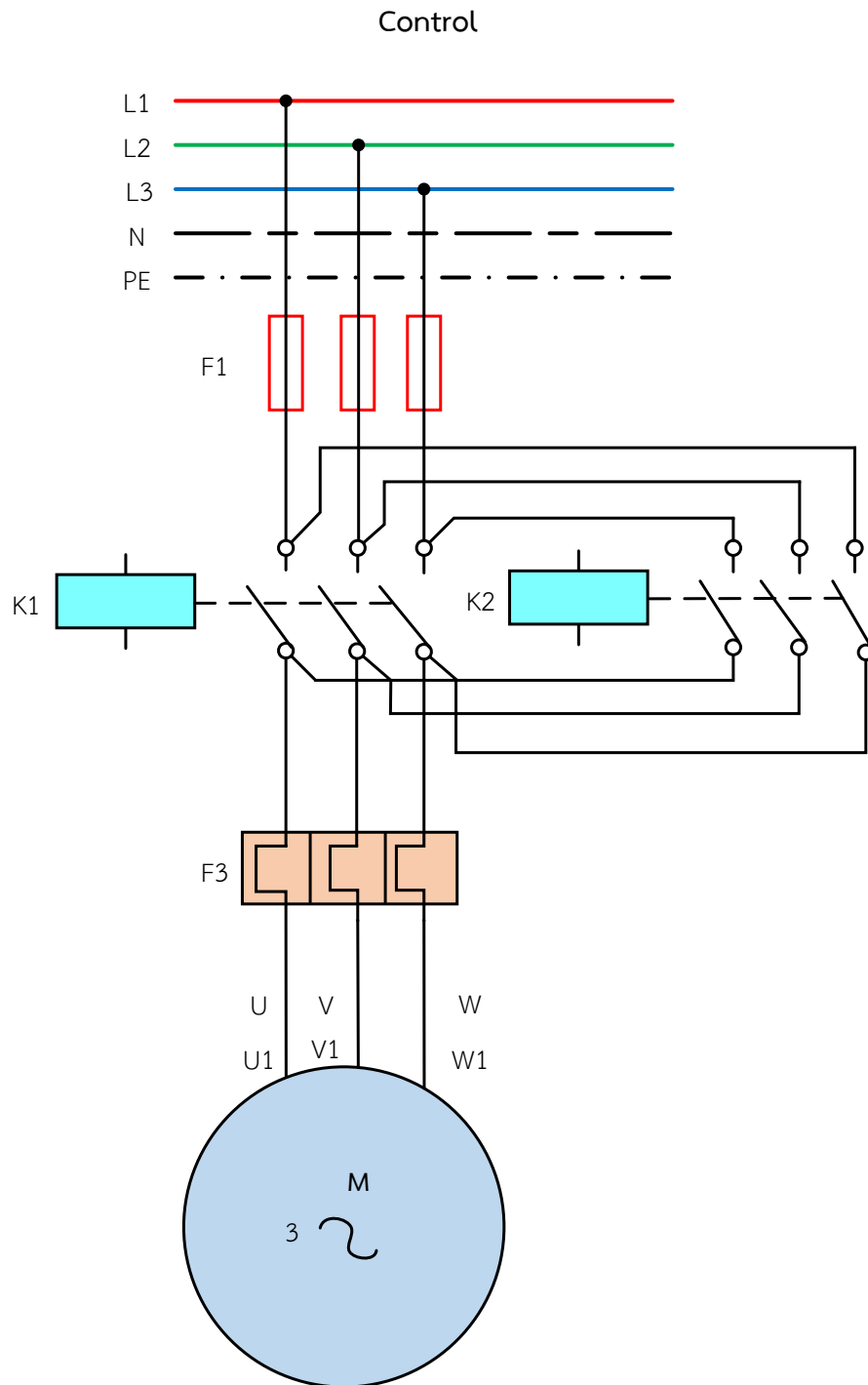
รูปที่ 5-19 ค. สภาวะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ S3

4. ถ้ากดสวิตช์ปุ่มกด S2 และ S3 พร้อมกันจะไม่มีคอนแทกเตอร์ตัวใดทำงาน และคอนแทกเตอร์ K1 และ K2 ไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ เนื่องจากมี interlock contactor K1 และ K2 ต่อไว้ก่อนเข้าคอยล์แม่เหล็กของ K1 และ K2 เพื่อเป็นการป้องกันการลัดวงจร

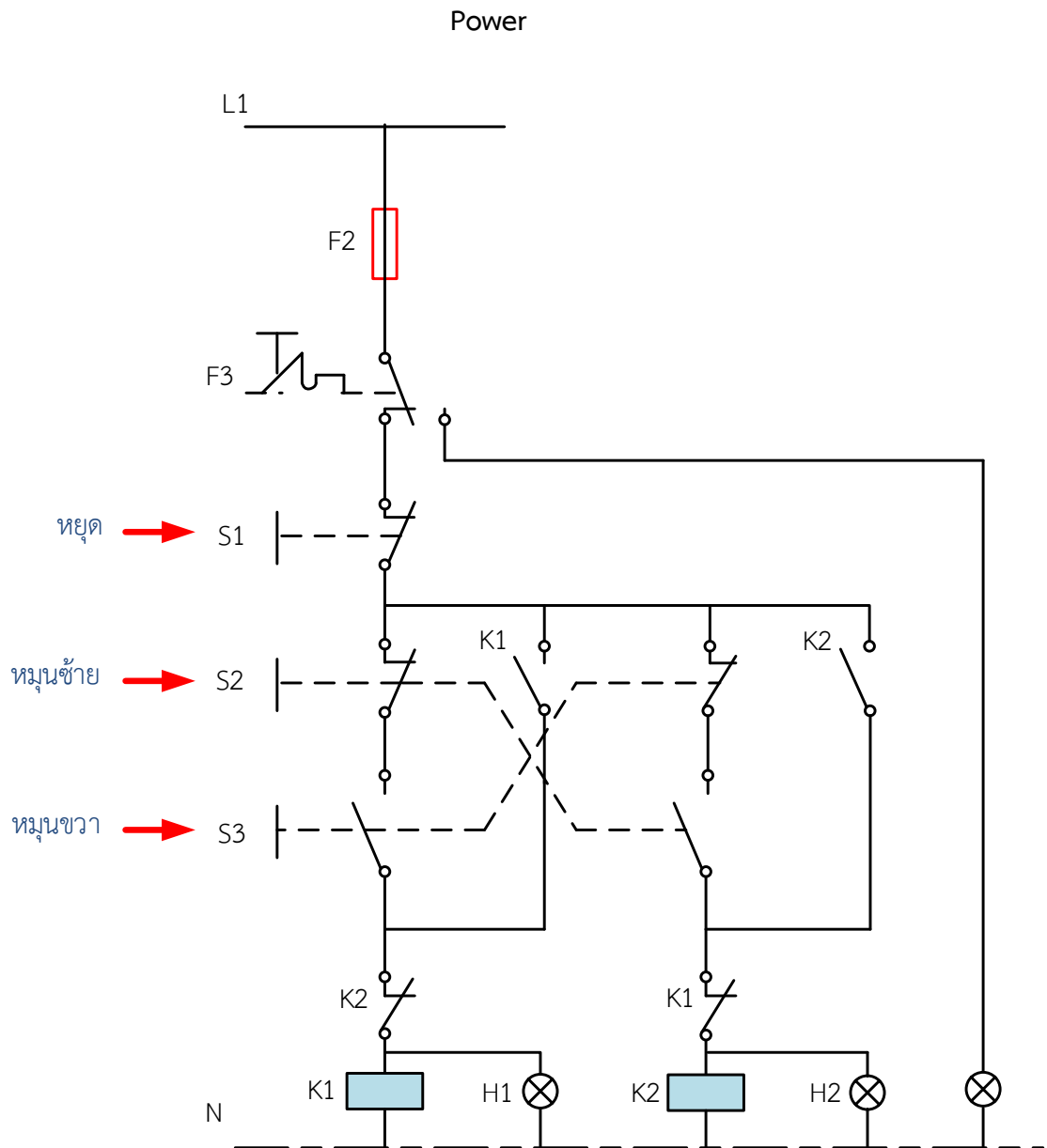
5. เมื่อเกิดการโอเวอร์โหลดขึ้น โอเวอร์โหลดรีเลย์ F3 แบบมีรีเซ็ตด้วยมือ จะทำหน้าที่ตัดวงจรควบคุมออกไป



รูปที่ 5-19 ง. สภาวะวงจรเมื่อการเกิดโอเวอร์โหลด



รูปที่ 5-19 จ. การต่อวงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ (Reversing after stop)
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์
(ที่มา: <http://www.lpc.rmutl.ac.th>)



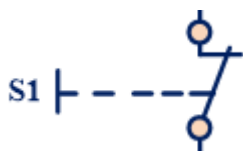
รูปที่ 5-19 จ.(ต่อ) การต่อวงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ (Reversing after stop)
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์
(ที่มา: <http://www.lpc.rmutl.ac.th>)

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบ วงจรกลับทางหมุน แบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging) ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์		
สาระสำคัญ มอเตอร์สามเฟสมีขดลวดสามชุด แต่ละชุดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันระบบ 3 เฟส และสามารถทำการกลับทางหมุนได้โดยการสลับปลายสายที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟสคู่ใดคู่หนึ่งการเลือกวิธีการกลับทางหมุนขึ้นอยู่กับลักษณะงาน และชนิดของมอเตอร์ การกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสด้วยคอนแทคเตอร์ที่นิยมกันโดยทั่วไป มี 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน คือ 1. วงจรกลับทางหมุนมอเตอร์โดยตรง 2. วงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ 3. วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง เรื่องที่จะศึกษา 1. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1. การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบวงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging) ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ จุดประสงค์การเรียนรู้ 1. รู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1 บอกประเภทของการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 1.2 อธิบายวิธีการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 1.3 อธิบายข้อแตกต่างของการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบ กลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ได้ 1.4 อธิบายลักษณะของการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ได้ถูกต้อง 1.5 อธิบายการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ได้ถูกต้อง 1.6 วิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของการขัดข้องในวงจรควบคุมได้ถูกต้อง		

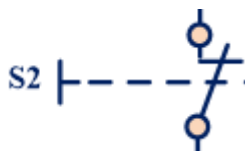
5.5 วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging)

ลักษณะการกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง หมายถึง การกลับทางหมุนมอเตอร์โดยการกด สวิตช์ปุ่มกด ค้างไว้ เมื่อปล่อยมือออกจากสวิตช์ปุ่มกดมอเตอร์ก็จะหยุดหมุน การเริ่มเดินมอเตอร์จะเริ่มเดินให้หมุนขวาหรือ ซ้ายก่อนก็ได้ โดยการกดสวิตช์ S2 หรือ S3 และเมื่อไม่ต้องการให้วงจรทำงานก็ทำการปลดสวิตช์ S1 ออกซึ่ง S1 เป็นสวิตช์แบบมีล๊อคในตัวเอง

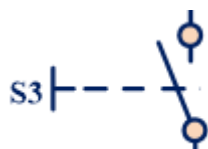
5.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์



1. สวิตช์แบบมีล๊อคในตัวเอง



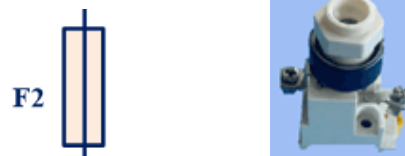
2. สวิตช์ปุ่มกดสีเขียวปกติปิด 1 ตัว =S2 (Push Button switch N.C.)



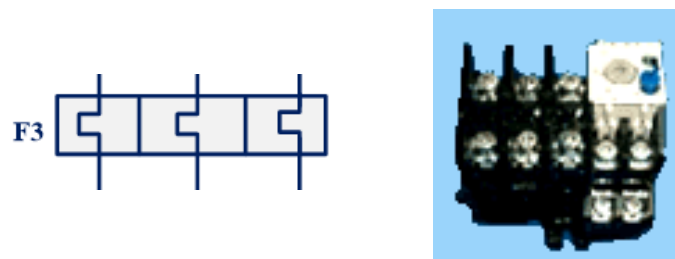
3. สวิตช์ปุ่มกดสีเหลืองปกติเปิด 1 ตัว =S3 (Push Button switch N.O.)



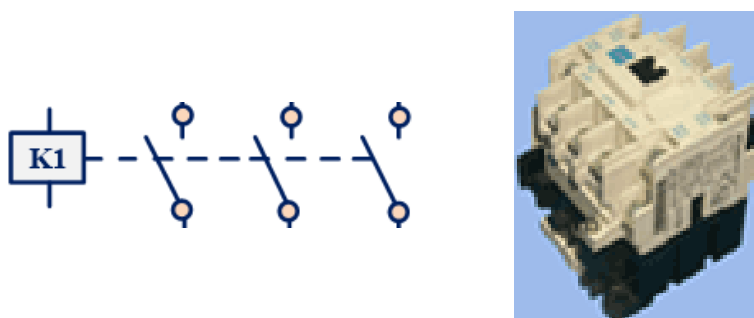
4. คาร์ทรีคฟิวส์ วงจรกำลัง 3 ตัว = F1 (Power Fuse)



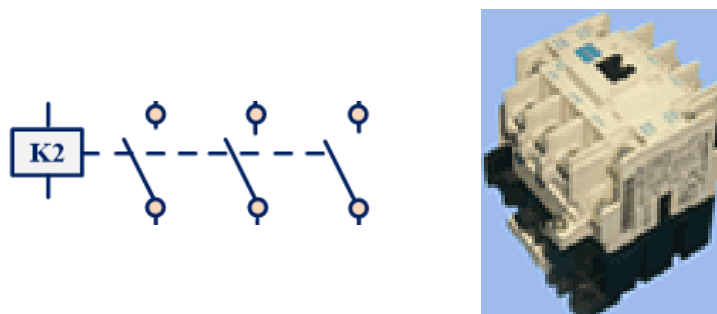
5. คาร์ทรีคฟิวส์ วงจรควบคุม 1 ตัว = F2 (Control Fuse)



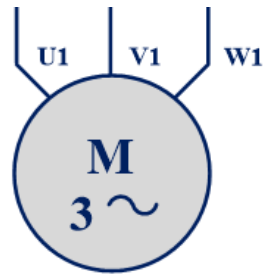
6. โอเวอร์โวลต์รีเลย์ 3 เฟส 2 ตัว = F3



7. คอนแทคเตอร์หมุนขวา = K1 (Forward Contactor)



8. คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย = K2 (Reverse Contactor)

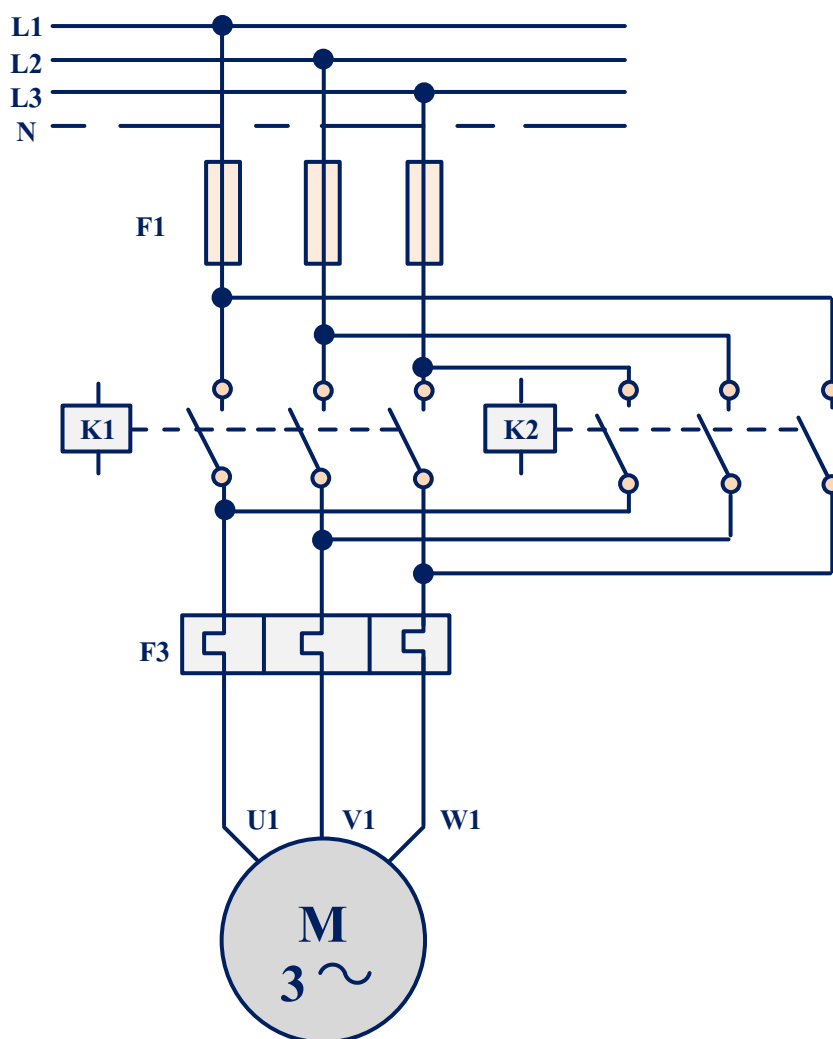


9. มอเตอร์ 3 เฟส = M1 (3 Phase Induction Motor)

5.5.2 ความหมายสัญลักษณ์อักษรกำกับวงจร

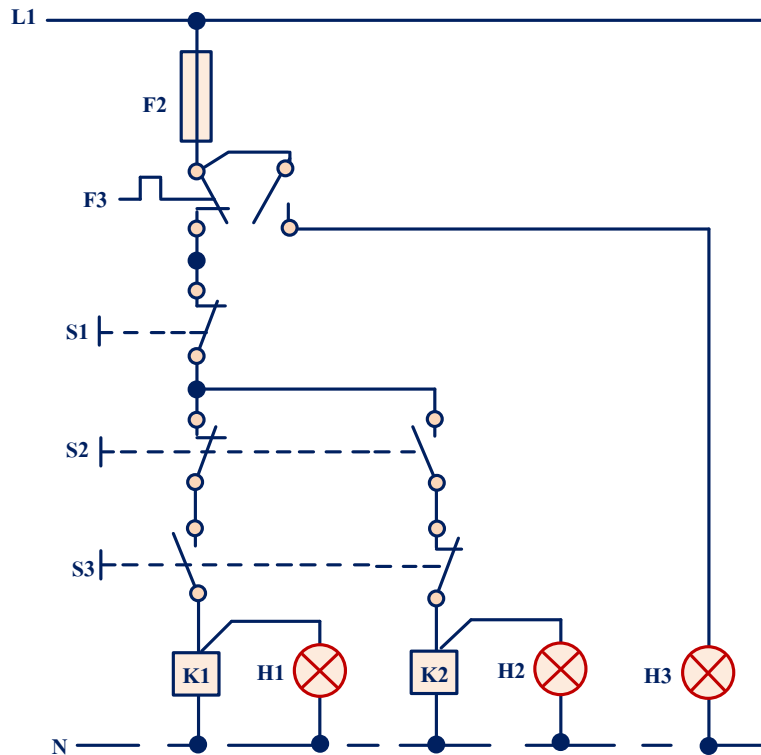
สัญลักษณ์	ความหมาย
S1	สวิตช์ปุ่มกดหยุดเดินมอเตอร์ (Push Button Stop switch)
S2	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนขวา (Forward Start switch)
S3	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนซ้าย (Reversing Start switch)
F1	ฟิวส์ป้องกันวงจรกำลัง (Power Fuse)
F2	ฟิวส์ป้องกันวงจรควบคุม (Control Fuse)
F3	อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (Overload Relay)
K1	คอนแทคเตอร์หมุนขวา (Forward Contactor)
K2	คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย (Reverse Contactor)
M1	มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)

5.5.3 วงจรและหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุน



รูปที่ 5-20 ก. วงจรกำลังของวงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging)
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

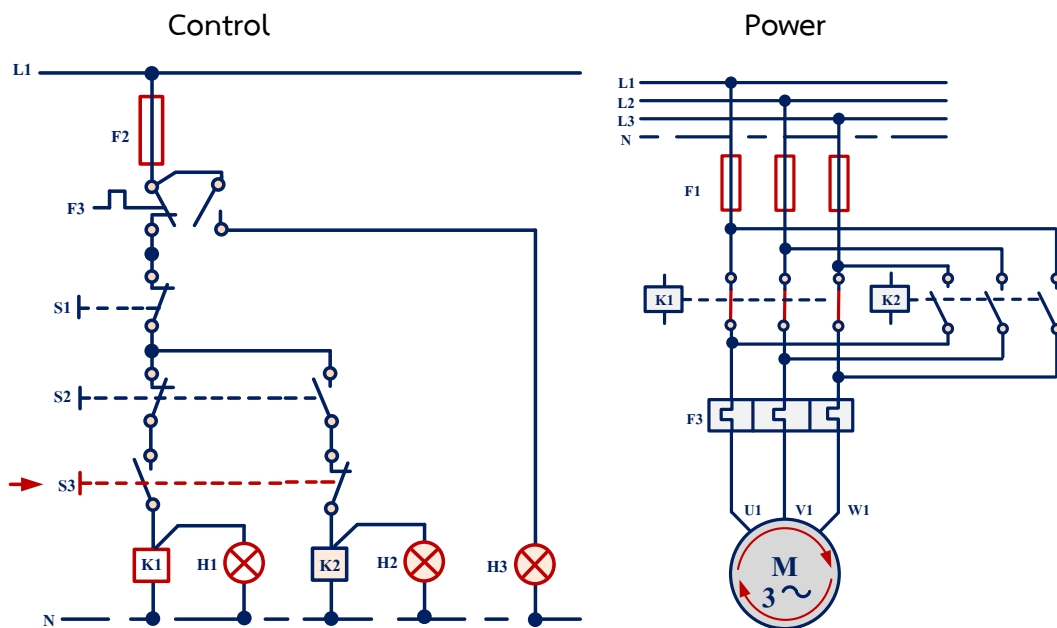
หลักการวงจรกำลังการกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสนั้นทำได้โดยการสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งเข้ามอเตอร์ ส่วนอีกเส้นหนึ่งต่อไว้ดังเดิมในการกลับทางหมุน ในงานควบคุมจำเป็นต้องเอาคอนแทคเตอร์มาช่วยในการสลับสายให้มอเตอร์กลับทางหมุนดังนี้ คอนแทคเตอร์ K1 ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา คอนแทคเตอร์ K2 ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้ายในวงจรกำลังคอนแทคเตอร์สองตัวจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ถ้าทำงานพร้อมกันจะเกิดการลัดวงจรระหว่าง L1 กับ L3 ดังนั้นคอนแทคเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอยู่อีกตัวต้องหยุดทำงาน การป้องกันไม่ให้คอนแทคเตอร์ K1 และ K2 ทำงานพร้อมกันทำได้โดยต่อคอนแทคต์ปกติปิด ไว้ก่อนเข้าขลวดของคอนแทคเตอร์สลับกัน



รูปที่ 5-20 ข. วงจรควบคุมของวงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging)
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์

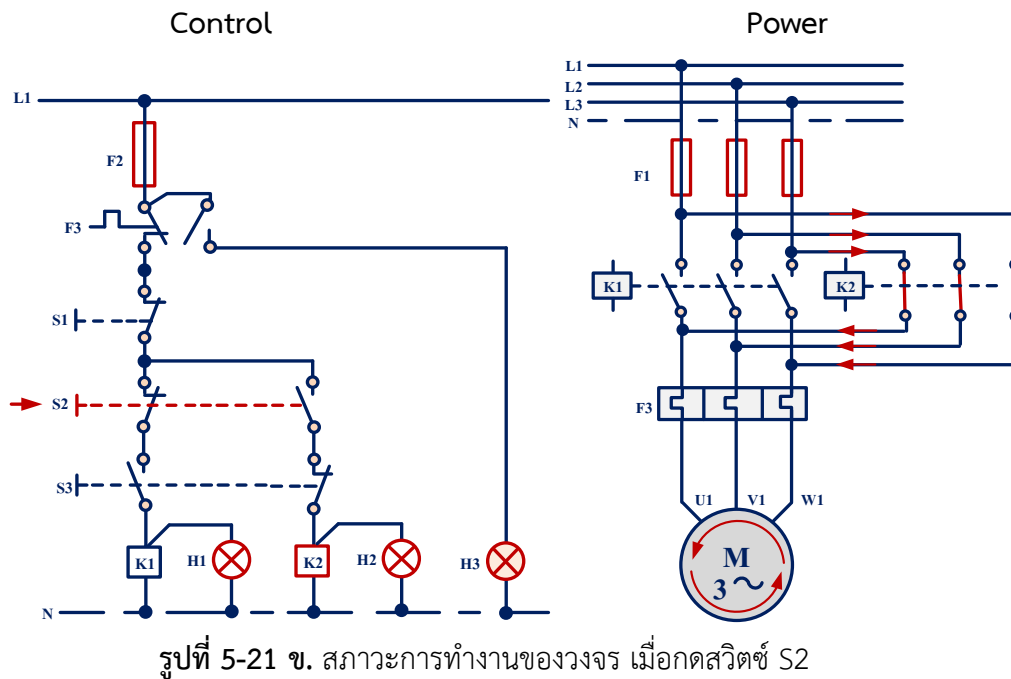
5.5.4 ลักษณะการทำงานของวงจร

1. กดสวิทช์ S3 ค้างไว้ตลอดเวลา คอนแทคเตอร์ K1 ทำหน้าที่ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา

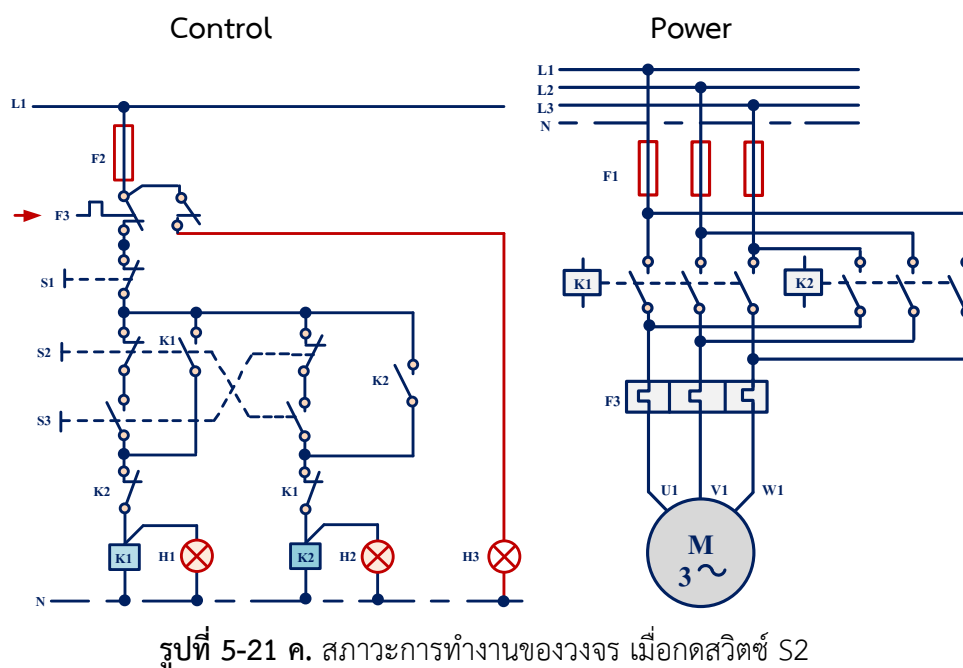


รูปที่ 5-21 ก. สภาวะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิทช์ S3

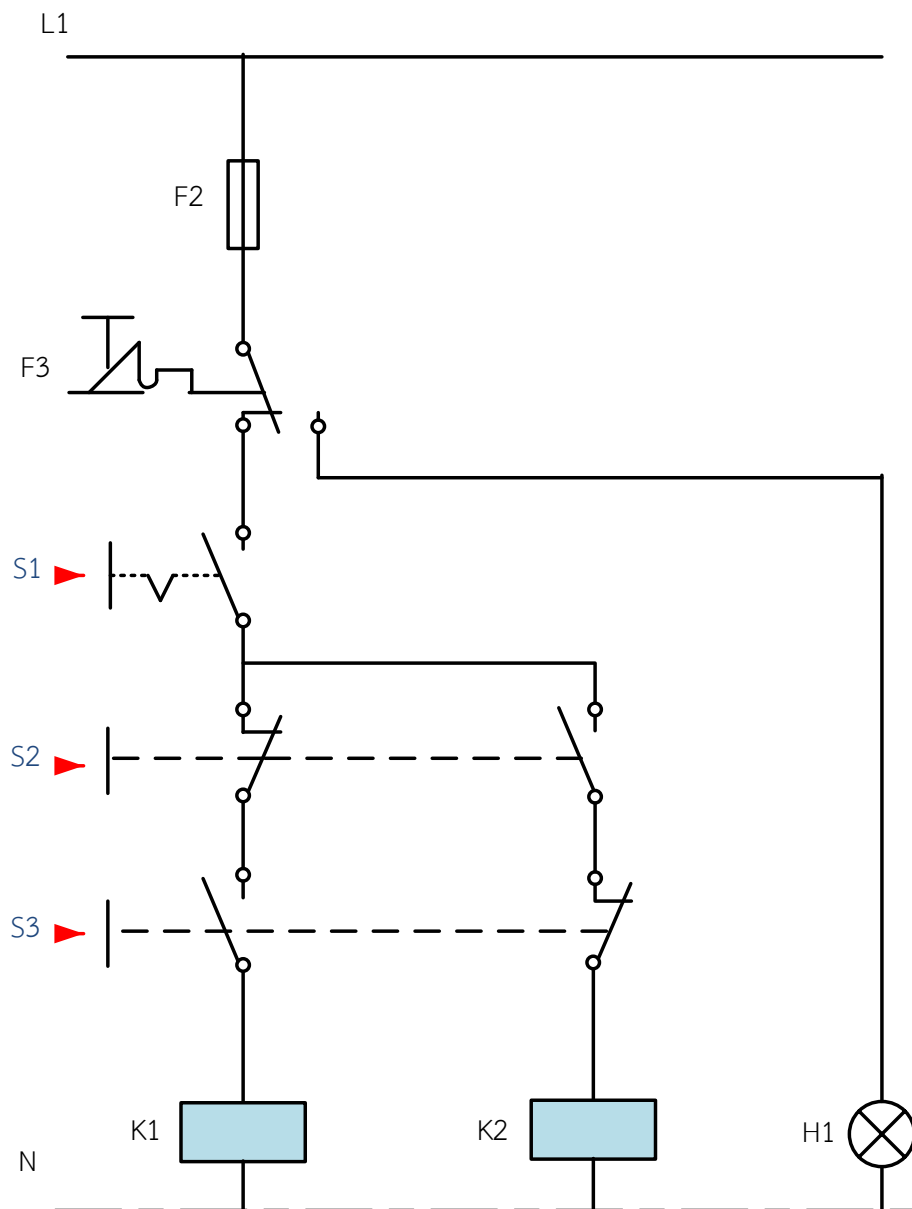
2. เมื่อกดสวิตช์ S2 ค้างไว้ตลอดเวลา คอนแทกเตอร์ K2 ทำหน้าที่ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้าย



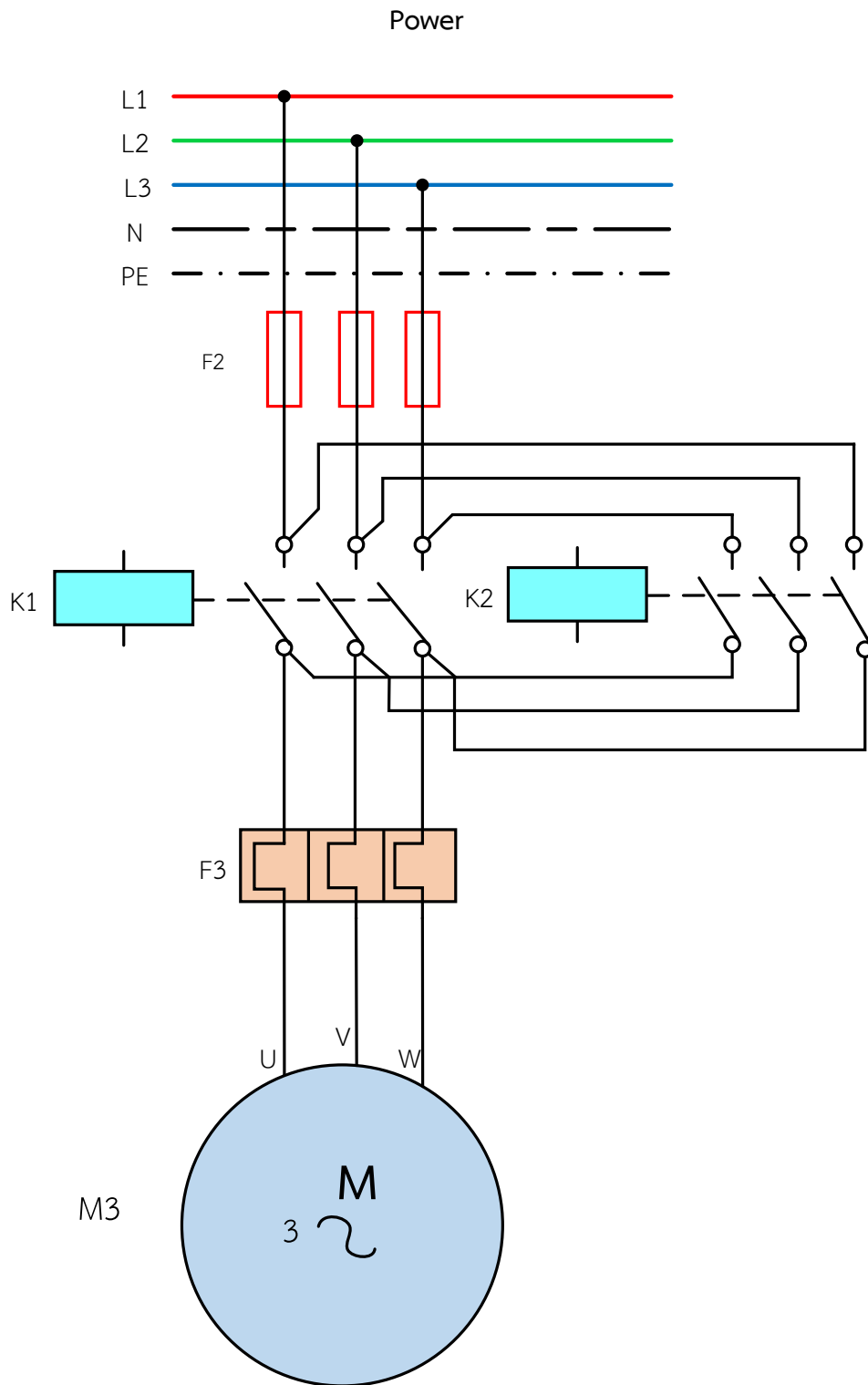
3. เริ่มเดินมอเตอร์ให้หมุนซ้ายหรือขวา ก่อนก็ได้โดยการกดสวิตช์ S2 หรือ S3 และจะต้อง กดสวิตช์ ตลอดเวลาที่ต้องการให้มอเตอร์หมุน ถ้าปล่อยมือออกจากสวิตช์ปุ่มกดมอเตอร์จะหยุดหมุน
4. ถ้ากดสวิตช์ปุ่มกด S2 และ S3 พร้อมกันจะไม่มีคอนแทกเตอร์ตัวใดทำงาน และคอน แทกเตอร์ K1 และ K2 ไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้
5. เมื่อเกิดการโอเวอร์โหลดขึ้น โอเวอร์โวลต์รีเลย์ F3 แบบมีรีเซ็ตด้วยมือ จะทำหน้าที่ตัดวงจร ควบคุมออกไป



Control



รูปที่ 5-21 ง. วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging) ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์
(ที่มา: <http://www.lpc.rmutl.ac.th>)



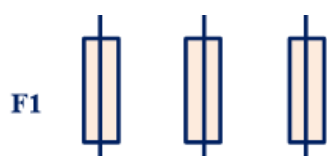
รูปที่ 5-21 ง.(ต่อ) วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง (Reversing by Jogging) ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์
(ที่มา: <http://www.lpc.rmutl.ac.th>)

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การต่อวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติก คอนแทคเตอร์ ควบคุมด้วยซีล็กเตอร์ สวิตช์		
สาระสำคัญ มอเตอร์สามเฟสมีขดลวดสามชุด แต่ละชุดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันระบบ 3 เฟส และสามารถทำการ กลับทางหมุนได้โดยการสลับปลายสายที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟสคู่ใดคู่หนึ่งการเลือกวิธีการกลับทาง หมุนขึ้นอยู่กัลักษณะงาน และชนิดของมอเตอร์ การกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสด้วยคอนแทคเตอร์ ที่นิยมกันโดยทั่วไป มี 3 แบบขึ้นอยู่กัลักษณะการใช้งาน คือ 1. วงจรกลับทางหมุนมอเตอร์โดยตรง 2. วงจรกลับทางหมุนหลังจากหยุดมอเตอร์ 3. วงจรกลับทางหมุนแบบจ็อกกิ้ง เรื่องที่จะศึกษา 1. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.6 การต่อวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุม ด้วยซีล็กเตอร์ สวิตช์ จุดประสงค์การเรียนรู้ 1. รู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1 บอกประเภทของการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 1.2 อธิบายวิธีการกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟสได้ถูกต้อง 1.3 อธิบายข้อแตกต่างของการกลับทางหมุนมอเตอร์ ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุมด้วยซีล็ก เตอร์สวิตช์ได้ 1.4. อธิบายลักษณะของการกลับทางหมุนมอเตอร์ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุมด้วยซีล็กเตอร์ สวิตช์ได้ถูกต้อง 1.5. อธิบายการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุมด้วย ซีล็กเตอร์สวิตช์ได้ 1.6 วิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของการขัดข้องในวงจรควบคุมได้ถูกต้อง		

5.6 วงจรกลับทางหมุน ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุม ด้วย ซีเล็คเตอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมวงจรไฟฟ้า เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจร หรือตัดกระแสไฟไม่ให้ไหลผ่านวงจรได้ตามที่ต้องการ เป็นสวิตช์ที่ใช้งานกันมากในงานที่ต้องควบคุมการทำงานด้วยมือ โดยการปิดให้คอนแทค ที่อยู่ภายในเปลี่ยนสถานะปิด (NC) หรือเปิด (NO)

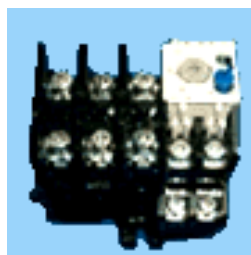
5.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์



1.คาร์ทริกฟิวส์ วงจรกำลัง 3 ตัว = F1 (Power Fuse)



2.คาร์ทริกฟิวส์วง จรควบคุม1 ตัว = F2 (Control Fuse)



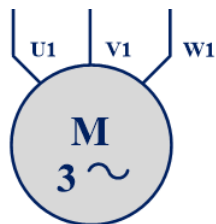
3.โอเวอร์โวลตจีเลย์ 3 เฟส 2 ตัว = F3



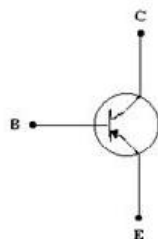
4. คอนแทคเตอร์หมุนขวา = K1 (Forward Contactor)



5. คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย = K2 (Reverse Contactor)



6.มอเตอร์ 3 เฟส = M1 (3 Phase Induction Motor)

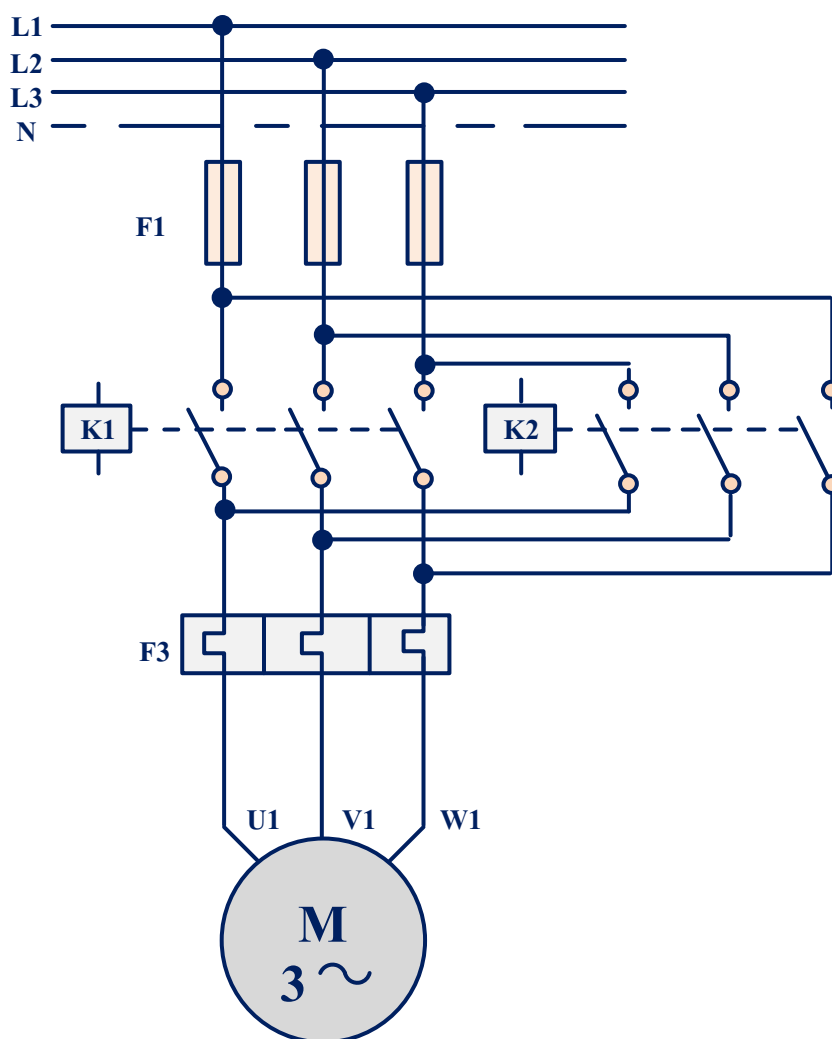


7. ซีเล็คเตอร์สวิตช์ (Selector Switch)

5.6.2 ความหมายสัญลักษณ์อักษรกำกับวงจร

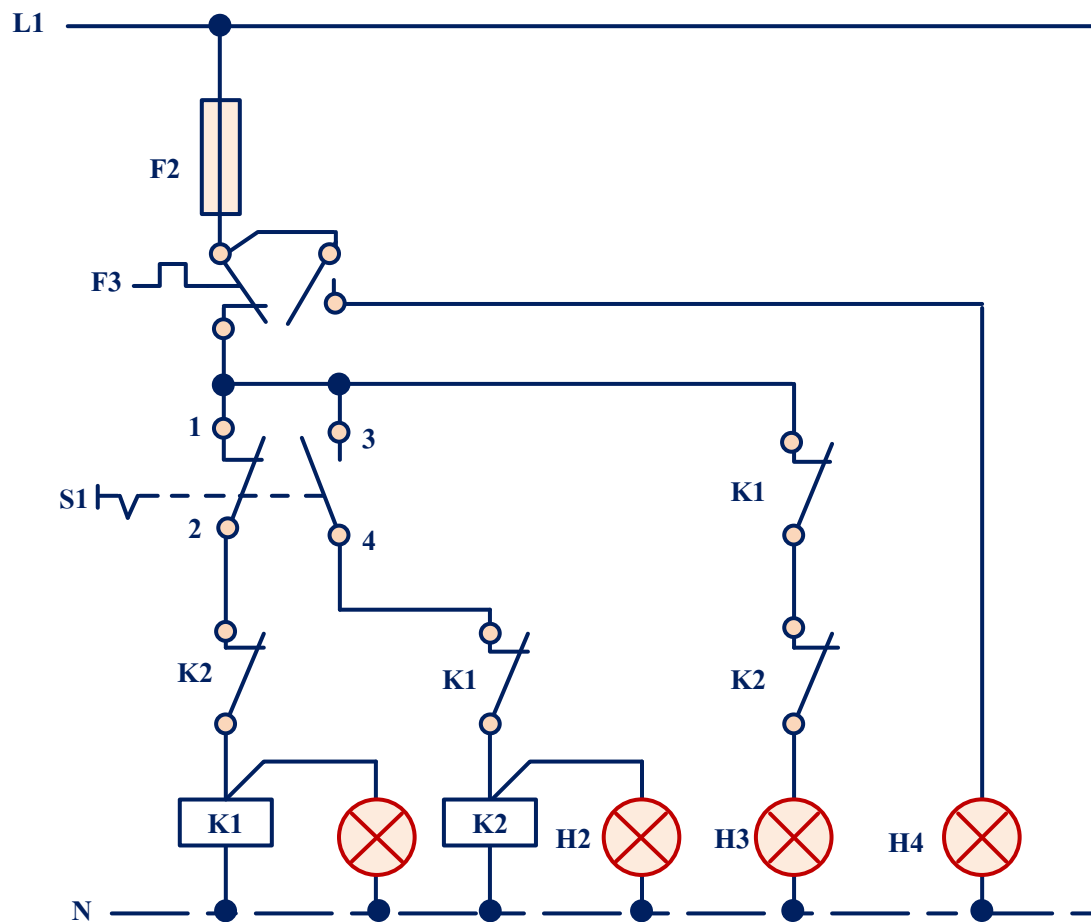
สัญลักษณ์	ความหมาย
S1	สวิตช์ปุ่มกดหยุดเดินมอเตอร์ (Push Button Stop switch)
S2	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนขวา (Forward Start switch)
S3	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนซ้าย (Reversing Start switch)
F1	ฟิวส์ป้องกันวงจรกำลัง (Power Fuse)
F2	ฟิวส์ป้องกันวงจรควบคุม (Control Fuse)
F3	อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (Overload Relay)
K1	คอนแทคเตอร์หมุนขวา (Forward Contactor)
K2	คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย (Reverse Contactor)
M1	มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)

5.6.3 วงจรและหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุน



รูปที่ 5-22 ก. วงจรกำลังของการต่อวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุมด้วยซีล็กเตอร์สวิตช์

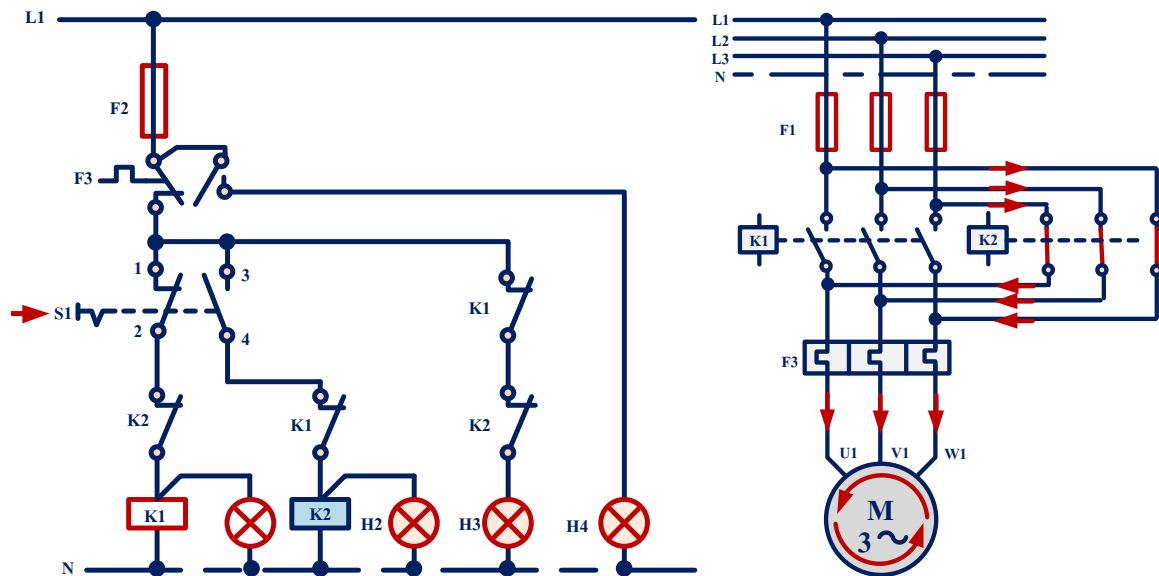
หลักการวงจรกำลังการกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในการกลับทางหมุน มอเตอร์ 3 เฟสนั้นทำได้โดยการสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งเข้ามอเตอร์ ส่วนอีกเส้นหนึ่งต่อไว้ดังเดิมในการกลับทางหมุน ในงานควบคุมจำเป็นต้องเอาคอนแทคเตอร์มาช่วยในการสลับสายให้มอเตอร์กลับทางหมุนดังนี้ คอนแทคเตอร์ K1 ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา คอนแทคเตอร์ K2 ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้าย ในวงจรกำลังคอนแทคเตอร์สองตัวจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ถ้าทำงานพร้อมกันจะเกิดการลัดวงจรระหว่าง L1 กับ L3 ดังนั้นคอนแทคเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอยู่ อีกตัวต้องหยุดทำงาน การป้องกันไม่ให้คอนแทคเตอร์ K1 และ K2 ทำงานพร้อมกันทำได้โดยต่อคอนแทคปกติปิด ไว้ก่อนเข้าขดลวดของคอนแทคเตอร์สลับกัน ซึ่งเรียกว่า Interlocked contactor



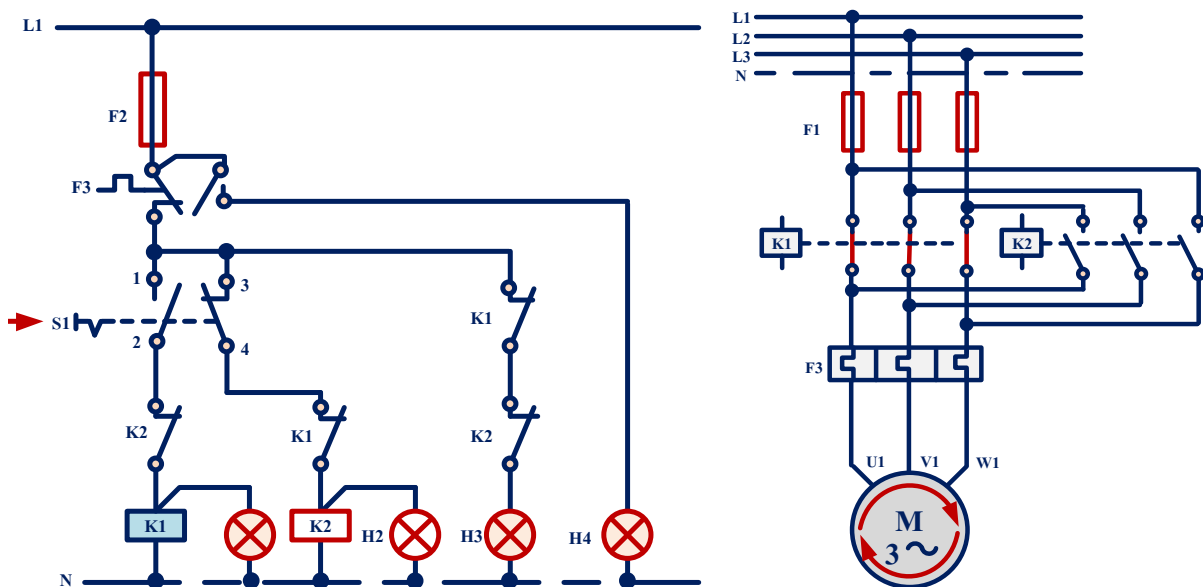
รูปที่ 5-22 ข. วงจรควบคุมของการต่อวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส
ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ควบคุมด้วยซีล็กเตอร์สวิตช์

5.6.4 ลักษณะการทำงานของวงจร

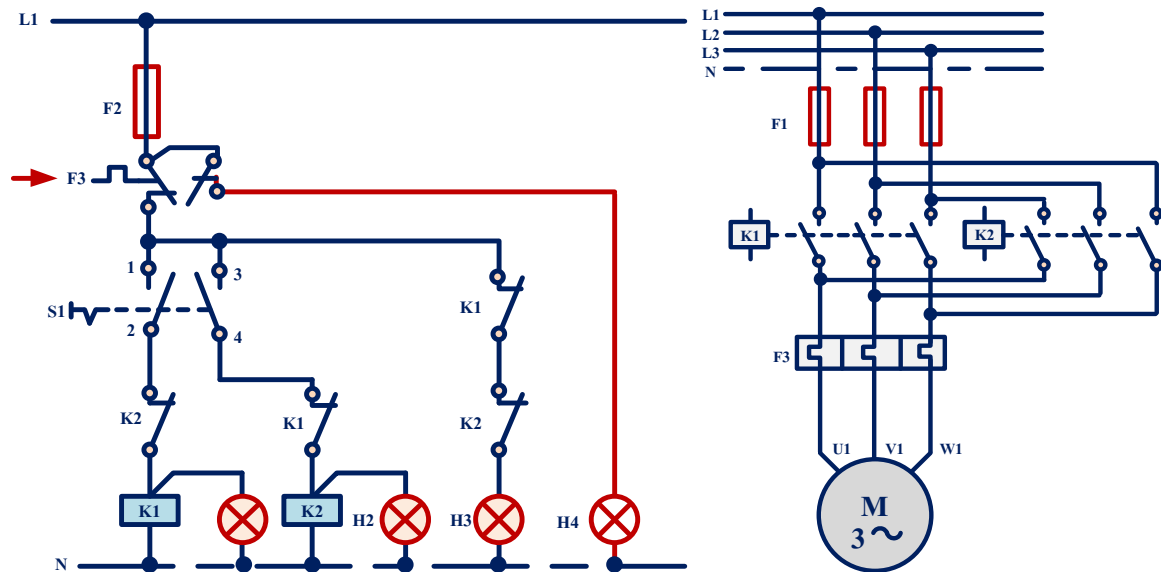
1. เมื่อ ปิด สวิตช์ S1 ไปทางด้านซ้ายมือ คอนแทกเตอร์ K1 ทำหน้าที่ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้าย



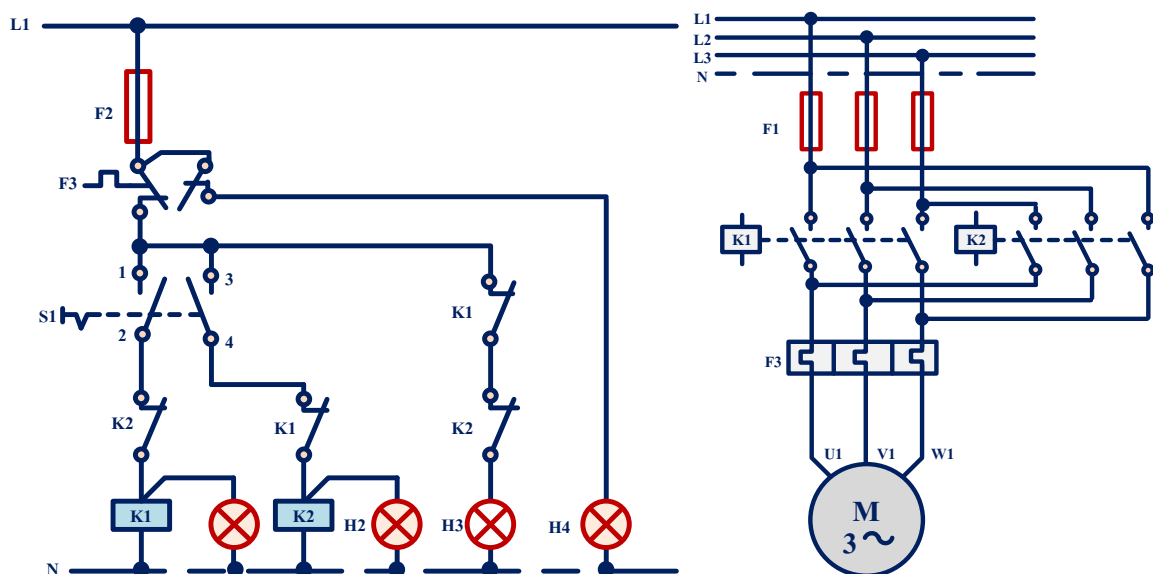
2. เมื่อ ปิดสวิตช์ S1 ไปทางด้านขวามือ คอนแทกเตอร์ K2 ทำหน้าที่ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา



3. กดปุ่มทริปของโอเวอร์โวลต์ F3 สังเกตการทำงานของวงจร



4. ปิดสวิตช์ S1 ให้อยู่ตรงกลาง สังเกตการทำงานของวงจร



  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ แบบทำงานเรียงลำดับ		

สาระสำคัญ

วงจรการควบคุมหลายๆ ตัวในอุตสาหกรรมบางประเภทจำเป็นต้องให้มอเตอร์แต่ละตัวในการทำงานร่วมกัน โดยในบางครั้งการทำงานร่วมกันนั้นอาจจะอยู่ในลักษณะที่ต้องให้ส่วนหนึ่งทำงานก่อนแล้ว อีกส่วนหนึ่งทำงานภายหลังก็ได้ ซึ่งลักษณะการควบคุมวงจรดังกล่าวนี้เรียกว่า วงจรควบคุมแบบเรียงลำดับ (Sequence Control) ในวงจรการควบคุมแบบนี้จะแบ่งประเภทการควบคุมเป็น 2 ลักษณะ คือ

- การควบคุมแบบ Manual Sequence Control
- การควบคุมแบบ Automatic Sequence Control

เรื่องที่จะศึกษา

- การต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ แบบทำงานเรียงลำดับ
- ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ

จุดประสงค์การเรียนรู้

- เรียนรู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส
 - ต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเรียงตามลำดับด้วยมือได้ถูกต้อง
 - อธิบายวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเรียงตามลำดับด้วยมือได้

5.7 การต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเรียงตามลำดับด้วยมือ

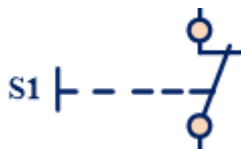
วงจรการควบคุมหลายๆ ตัว ในอุตสาหกรรมบางประเภทจำเป็นต้องให้มอเตอร์แต่ละตัวในการทำงานร่วมกัน โดยในบางครั้งการทำงานร่วมกันนั้นอาจจะอยู่ในลักษณะที่ต้องให้ส่วนหนึ่งทำงานก่อนแล้ว อีกส่วนหนึ่งทำงานภายหลังก็ได้ ซึ่งลักษณะการควบคุมวงจรดังกล่าวนี้เรียกว่า วงจรควบคุมแบบเรียงลำดับ (Sequence Control) ในวงจรการควบคุมแบบนี้จะแบ่งประเภทการควบคุมเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การควบคุมแบบ Manual Sequence Control
2. การควบคุมแบบ Automatic Sequence Control

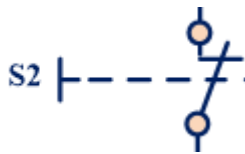
5.7.1 การควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานเรียงกันตามลำดับ

โดยให้มอเตอร์ตัวที่ 1 ทำงานก่อนถึงจะสามารถสตาร์ทให้มอเตอร์ตัวที่ 2 ทำงานได้ ถ้ามอเตอร์ตัวที่ 1 ยังไม่ทำงาน มอเตอร์ตัวที่ 2 ก็ไม่สามารถทำงานได้เพราะการทำงานของมอเตอร์ตัวที่ 2 อาศัยคอนแทกช่วยแบบปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ตัวที่ 1 ให้ทำงานล็อกตัวเองต่อให้คอนแทกตัวที่ 2 ทำงาน วงจรเรียงลำดับจัดได้ว่าเป็นลักษณะของงานที่ทำเป็นระบบ ซึ่ง หมายถึง เป็นงานที่ต้องใช้มอเตอร์หรือโหลดชนิดอื่นๆ หลายๆ ตัวมาทำงานร่วมกัน โดยมอเตอร์หรือโหลดเหล่านั้นจะทำงานเรียงกันไปเรื่อยๆ โดยในแต่ละช่วง การทำงานอาจถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขของเวลาหรือเงื่อนไขของระบบงานเองก็ได้ ซึ่งงานควบคุมเรียงลำดับ หากเป็นแบบอัตโนมัติแล้ว ก็จัดได้ว่าเป็นพื้นฐานของงานการควบคุมอัตโนมัติ ที่นับวันจะเพิ่มพูนความสำคัญในระบบงานอุตสาหกรรมมากขึ้น แม้ว่างานการควบคุมในปัจจุบันได้พัฒนาระบบการควบคุมไปแล้วแต่ละส่วนของงาน พื้นฐานนั้นยังจำเป็นต่อนักศึกษาที่จะทำความเข้าใจให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

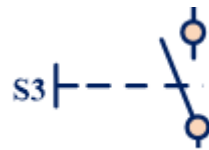
1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรควบคุมแบบทำงานเรียงลำดับ



1. สวิตช์ปุ่มกดสีแดงปกติปิด 1 ตัว = S1 (Push Button switch N.C.)

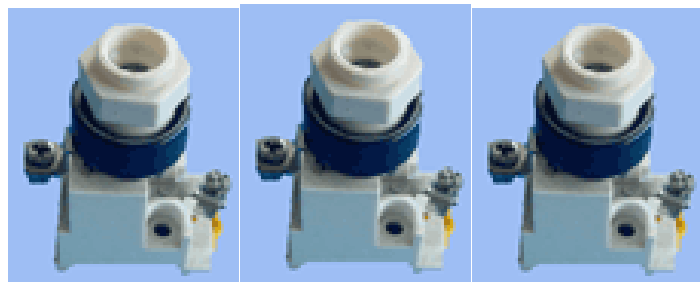


2.สวิตช์ปุ่มกดสีเขียวปกติเปิด 1 ตัว = S2 (Push Button switch N.O.)



3.สวิตช์ปุ่มกดสีเหลืองปกติเปิด 1 ตัว = S3 (Push Button switch N.O.)

F1

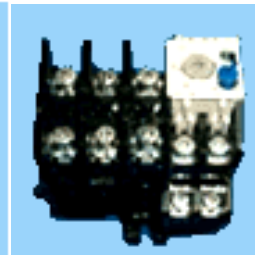


4.คาร์ทริกฟิวส์ วงจรกำลัง 3 ตัว = F1 (Power Fuse)

F2



5.คาร์ทริกฟิวส์วง จรควบคุม1 ตัว = F2 (Control Fuse)

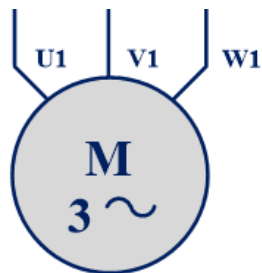


6.โอเวอร์โวลต์รีเลย์ 3 เฟส 2 ตัว = F3 - F4



7. คอนแทคเตอร์หมุนขวา = K1 (Forward Contactor)

8. คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย = K2 (Reverse Contactor)

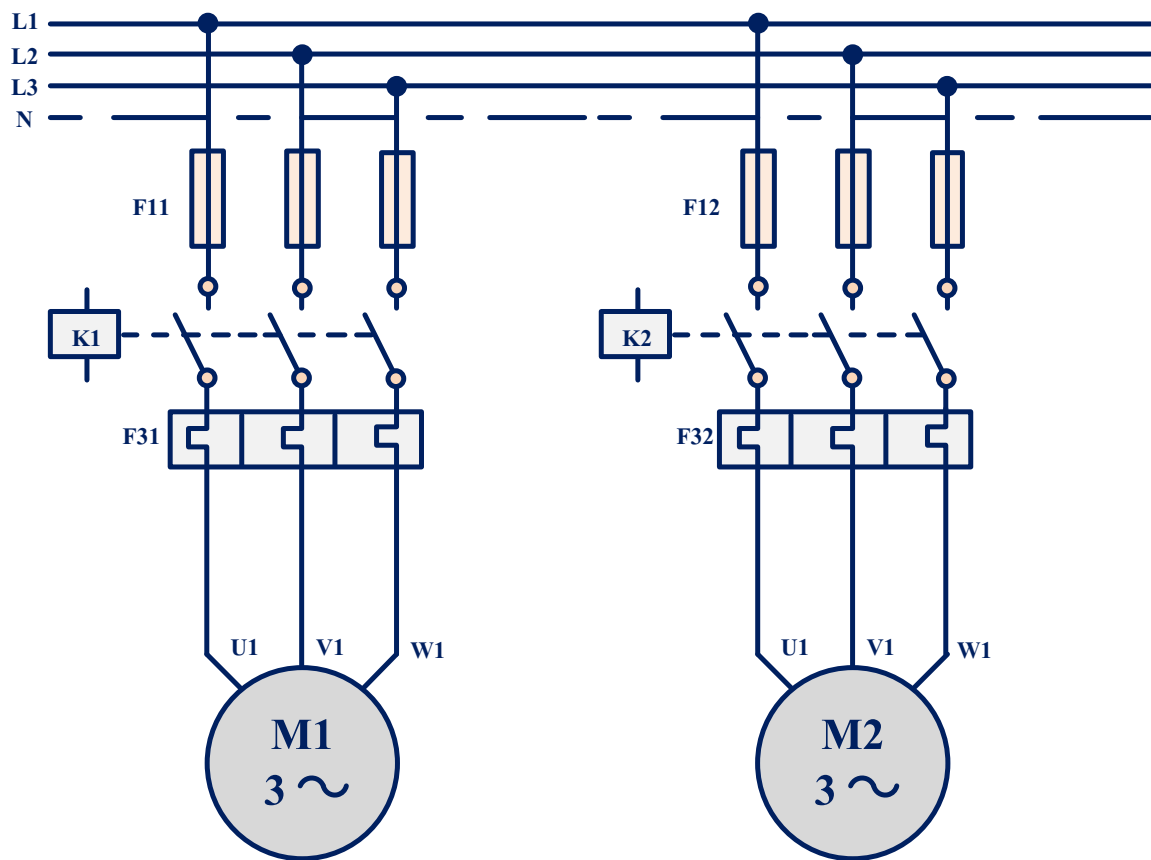


9.มอเตอร์ 3 เฟส = M1-M2 (3 Phase Induction Motor)

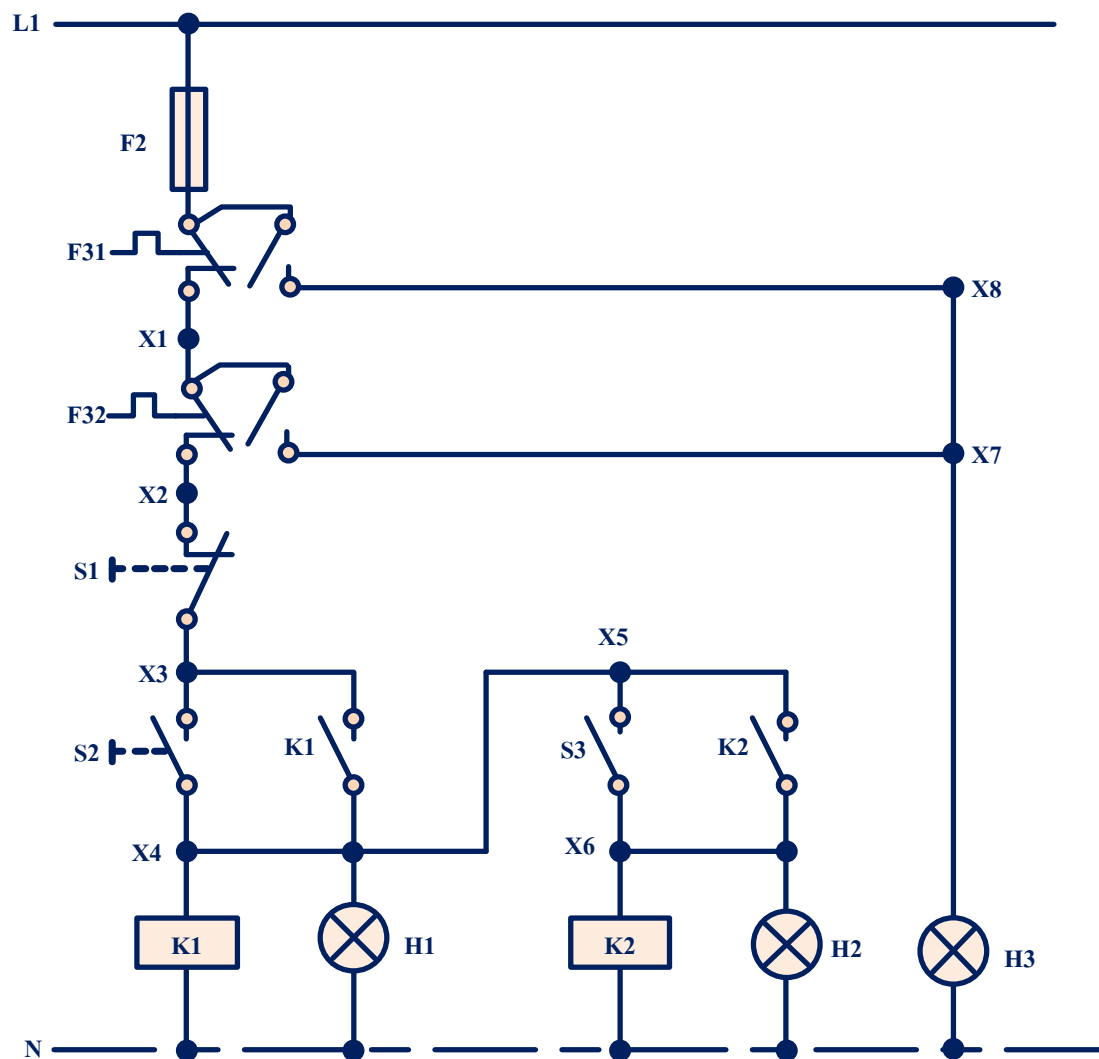
2 ความหมายสัญลักษณ์อักษรกำกับวงจร

สัญลักษณ์	ความหมาย
S1	สวิตช์ปุ่มกดหยุดเดินมอเตอร์ (Push Button Stop Switch)
S2	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนขวา (Forward Start Switch)
S3	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนซ้าย (Reversing Start Switch)
F1	ฟิวส์ป้องกันวงจรกำลัง (Power Fuse)
F2	อุปกรณ์ป้องกันวงจรควบคุม (Control Fuse)
F3	อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (Overload Relay)
K1	คอนแทคเตอร์หมุนขวา (Forward Contactor)
K2	คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย (Reverse Contactor)
M1	มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)
M2	มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)

3 การเริ่มต้นมอเตอร์แบบทำงานเรียงลำดับ Manual Sequence Control



รูปที่ 5-23 วงจรกำกับการเริ่มต้นมอเตอร์แบบทำงานเรียงลำดับ

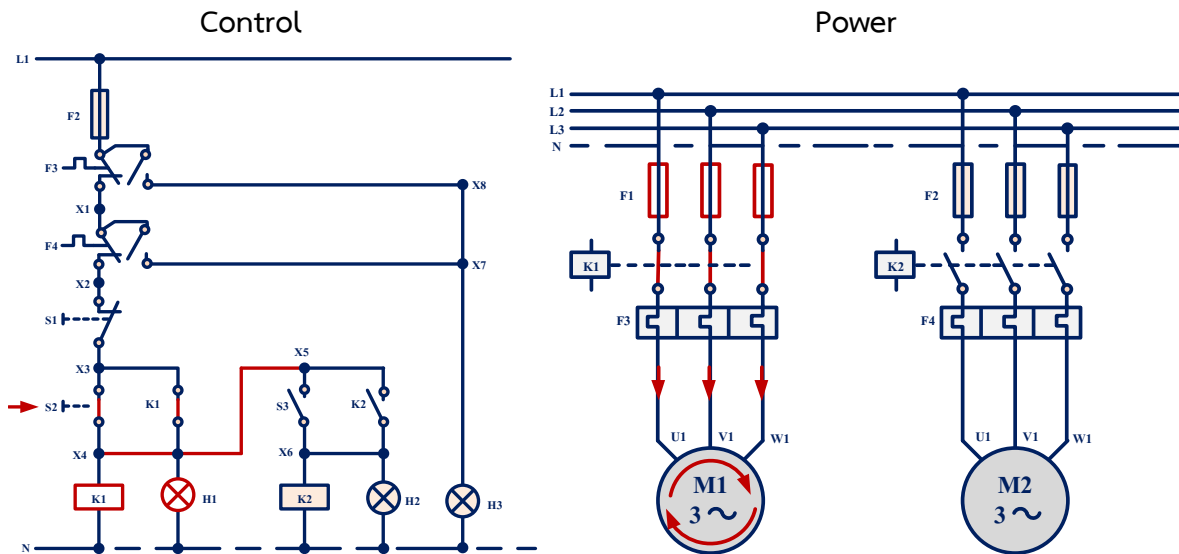


รูปที่ 5 -24 วงจรควบคุมการเริ่มเดินมอเตอร์แบบทำงานเรียงลำดับ Manual Sequence Control

4 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

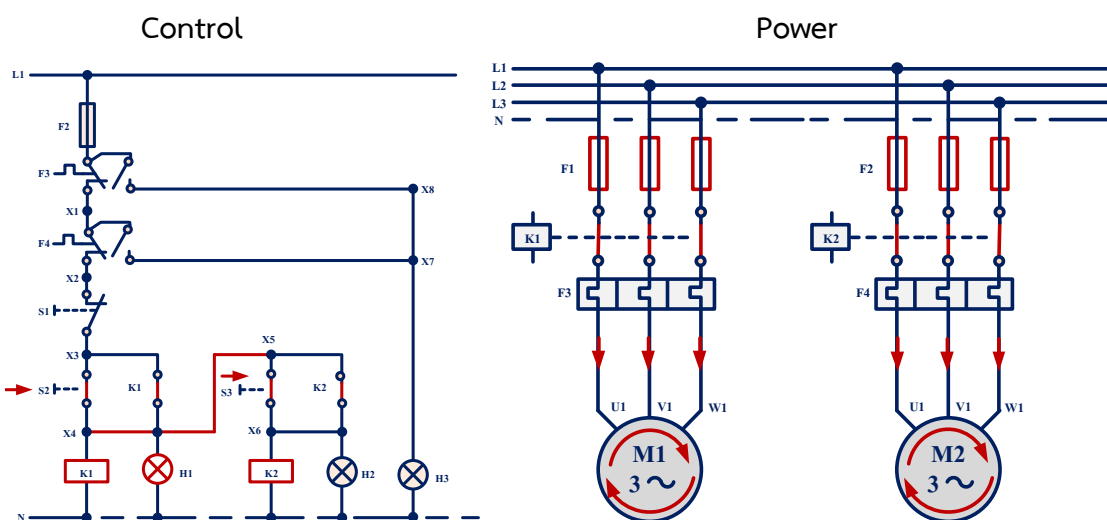
มอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) จะต้องทำงานก่อนมอเตอร์ตัวที่ 2 (M2) จึงจะทำงานได้ ทั้งนี้ เนื่องจากว่าคอนแทคปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 3 จะกั้นคอยล์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2 ไว้ก่อนแล้ว ดังนั้น มอเตอร์ตัวที่ 2 จึงไม่สามารถทำงานก่อนได้

1. กดสวิทช์ S2 จะทำให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K1 ทำงาน คอนแทคปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 2 จะล๊อคให้ตัวเองทำงานมอเตอร์ตัวแรกคือ M1 จะเริ่มหมุน ขณะเดียวกันคอนแทคปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 3 จะต่อวงจรให้คอยล์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2 ในแถวที่ 3 เพื่อเตรียมพร้อมจะทำงาน



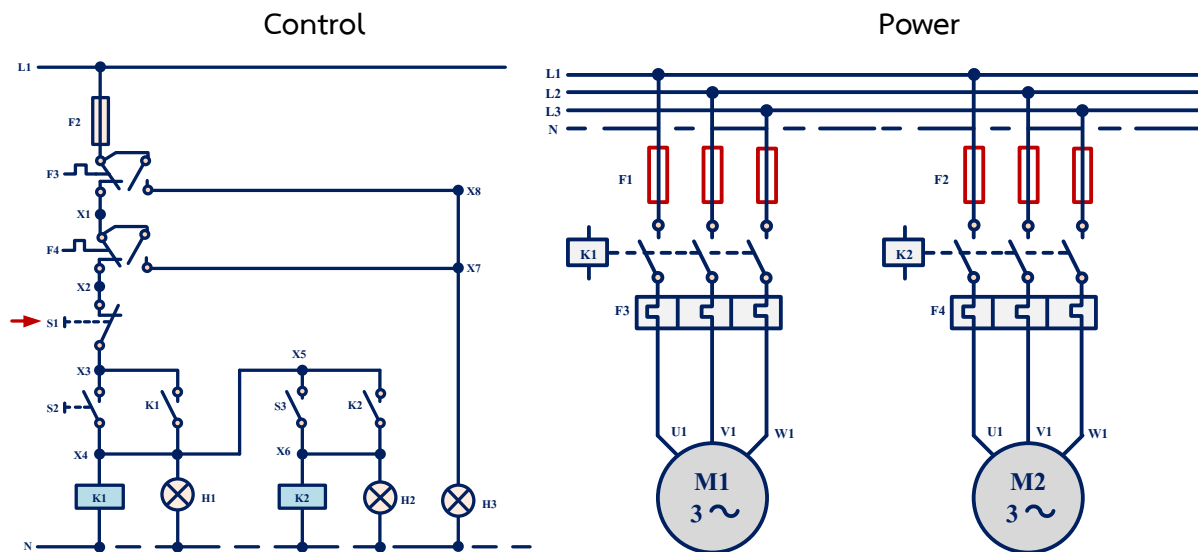
รูปที่ 5-25 สถานะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิทช์ S2

2. กดสวิทช์ S3 จะทำให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2 ในแถวที่ 3 ทำงาน คอนแทคปกติปิดของ K2 ในแถวที่ 1 จะแถวที่ 1 จะเปิดออกเพื่อป้องกันให้มอเตอร์ตัวที่ 2 หยุดก่อน จึงจะเริ่มสตาร์ทระบบใหม่ได้และคอนแทคปกติเปิดของ K2 ในแถวที่ 4 จะต่อวงจรล๊อคตัวเองขณะนี้มอเตอร์ตัวที่ 2 คือ M2 จะเริ่มหมุน เป็นการทำงานเรียงลำดับต่อจากมอเตอร์ตัวแรก



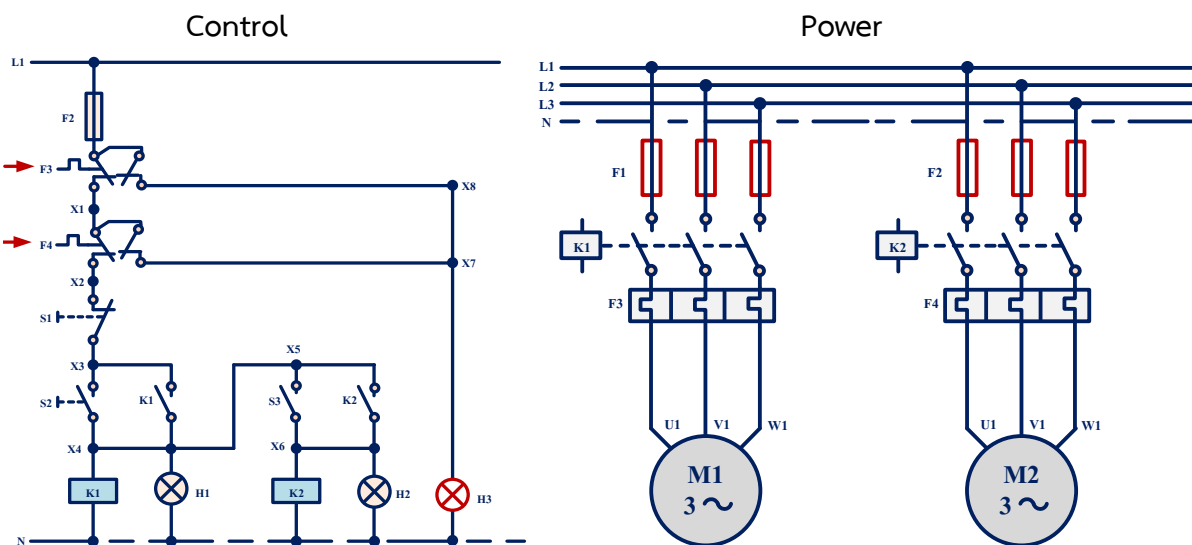
รูปที่ 5-26 สถานะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิทช์ S3

3. เมื่อกดสวิตช์ S1 มอเตอร์ทุกตัวจะหยุดหมุน



รูปที่ 5-27 สถานะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ S1

4. กดปุ่มทริปของโอเวอร์โหลด F3, F4 หรือสถานะกระแสไหลเกิด วงจรจะตัดการทำงานทันที



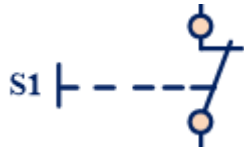
รูปที่ 5-28 สถานะโอเวอร์โหลด F3 ,F4

5.7.2 การควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานเรียงลำดับอัตโนมัติ

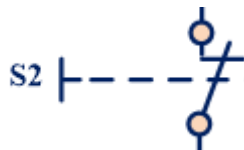
เป็นวงจรที่ประยุกต์จากวงจรการควบคุมให้มอเตอร์ทำงานเรียงลำดับกันแบบธรรมดา โดยมีการเปลี่ยนการใช้สวิตช์แบบปกติเปิด S3 มาใช้รีเลย์ตั้งเวลา แทน ซึ่งสวิตช์ตั้งเวลาจะเป็นตัวหน่วงเวลาและทำงานต่อคอนแทคเพื่อสตาร์ทให้มอเตอร์ M2 ทำงานการ ควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานเรียงกันแบบอัตโนมัตินี้จะอำนวยความสะดวกแก่ระบบลำเลียงวัสดุ ชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งรีเลย์เวลาจะช่วยหน่วง

เวลาการสตาร์ทมอเตอร์ M2 ในช่วงเวลาที่เหมาะสม ช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้า ลดการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในระบบไฟฟ้ากำลัง

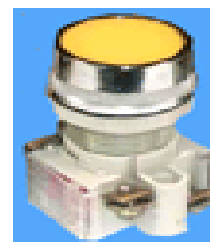
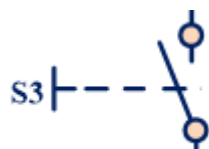
1.อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรควบคุมแบบทำงานเรียงลำดับ



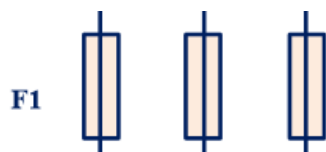
1.สวิตช์ปุ่มกดสีแดงปกติปิด 1 ตัว = S1 (Push Button switch N.C.)



2.สวิตช์ปุ่มกดสีเขียวปกติเปิด 1 ตัว = S2 (Push Button switch N.O.)



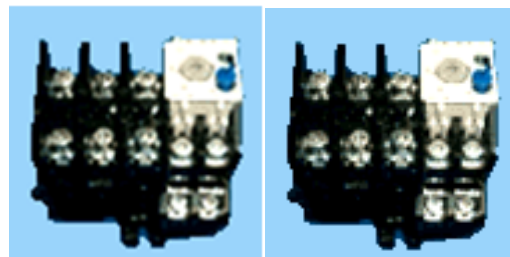
3.สวิตช์ปุ่มกดสีเหลืองปกติเปิด 1 ตัว = S3 (Push Button switch N.O.)



4.คาร์ทริกฟิวส์ วงจรกำลัง 3 ตัว = F1 (Power Fuse)



5.คาร์ทริกฟิวส์วง จรควบคุม1 ตัว = F2 (Control Fuse)

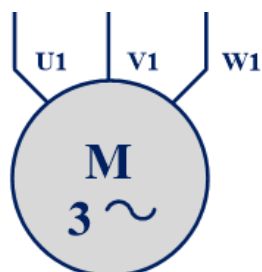


6.โอเวอร์โวลต์รีเลย์ 3 เฟส 2 ตัว = F3 - F4

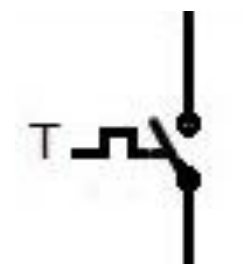


7. คอนแทคเตอร์หมุนขวา = K1 (Forward Contactor)

8. คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย = K2 (Reverse Contactor)



9. มอเตอร์ 3 เฟส = M1-M2 (3 Phase Induction Motor)

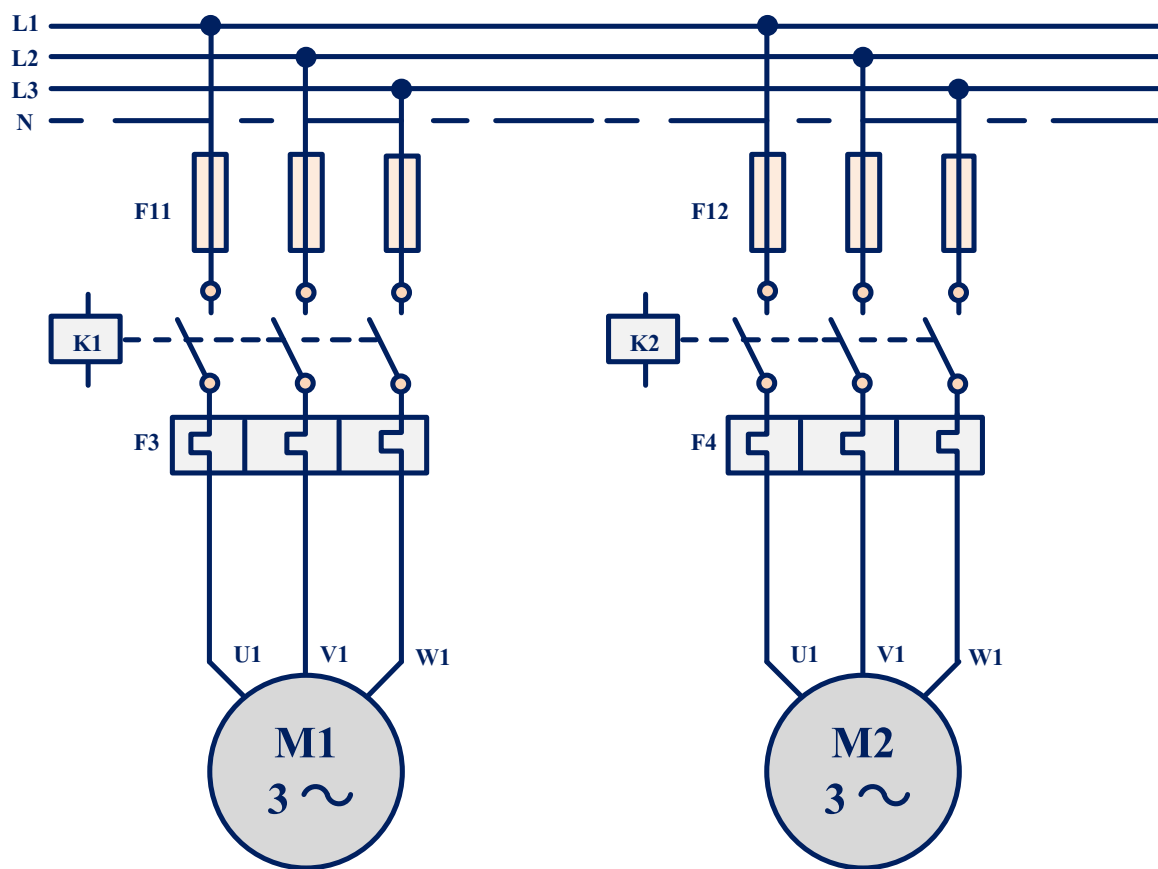


10. รีเลย์หน่วงเวลา (Timer Relay) = T

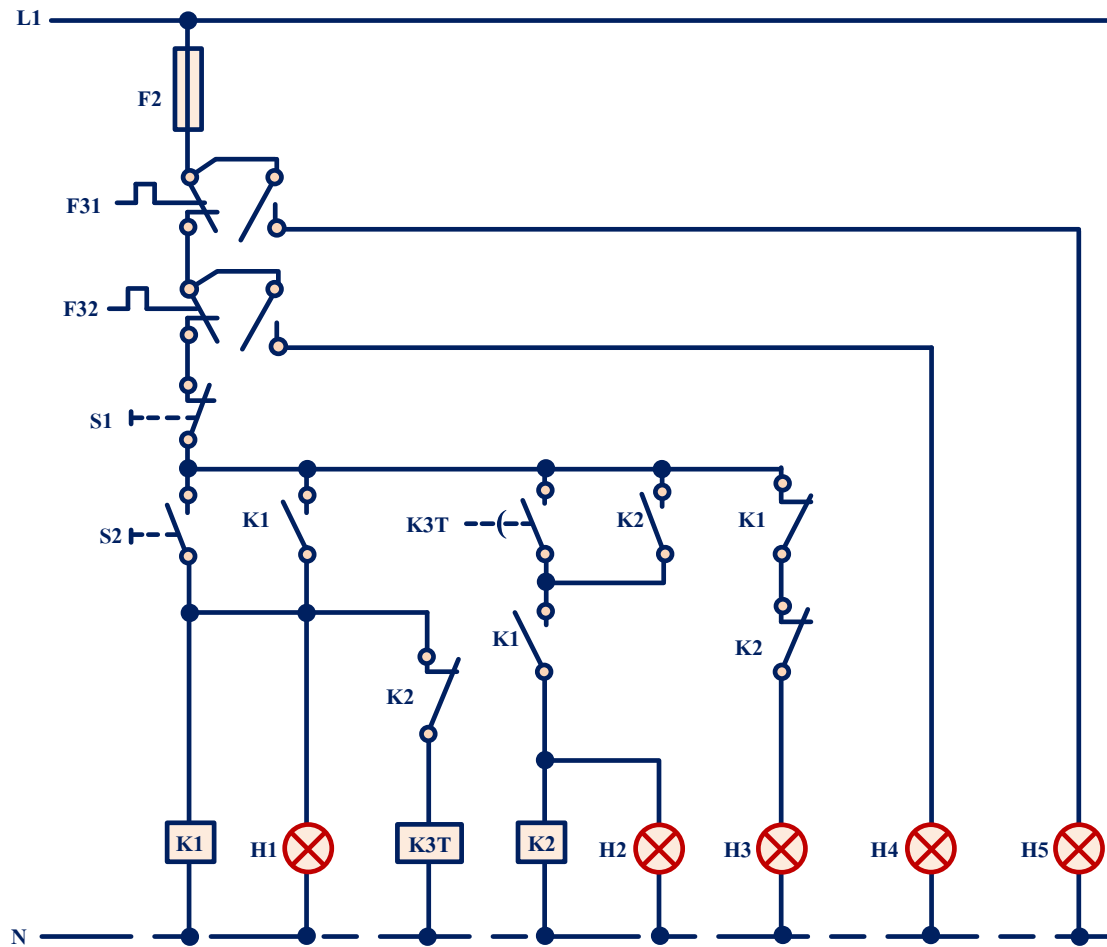
2.ความหมายสัญลักษณ์อักษรกำกับวงจร

สัญลักษณ์	ความหมาย
S1	สวิตช์ปุ่มกดหยุดเดินมอเตอร์ (Push Button Stop Switch)
S2	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนขวา (Forward Start Switch)
S3	สวิตช์ปุ่มกดเดินมอเตอร์หมุนซ้าย (Reversing Start Switch)
F1	ฟิวส์ป้องกันวงจรกำลัง (Power Fuse)
F2	ฟิวส์ป้องกันวงจรควบคุม (Control Fuse)
F3	อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (Overload Relay)
K1	คอนแทคเตอร์หมุนขวา (Forward Contactor)
K2	คอนแทคเตอร์หมุนซ้าย (Reverse Contactor)
M1	มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)
T	รีเลย์หน่วงเวลา (Timer Relay)

3.การต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ แบบทำงานเรียงลำดับ แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 5-29 วงจรกำกับการเริ่มเดินมอเตอร์แบบทำงานเรียงลำดับ



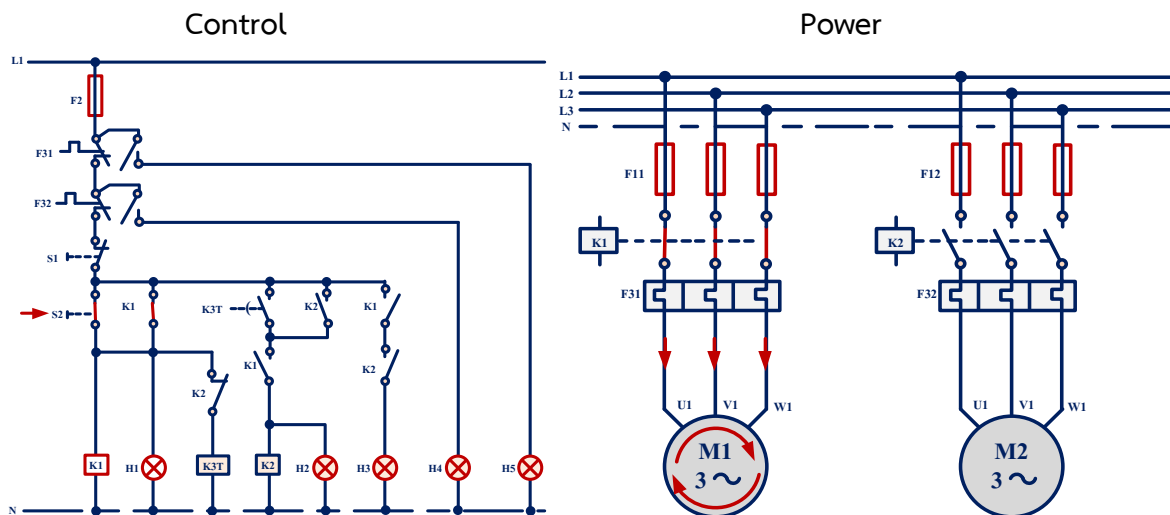
รูปที่ 5-30 วงจรควบคุมการเริ่มเดินมอเตอร์แบบทำงานเรียงลำดับโดยอัตโนมัติ

Automatic Sequence Control

3.ลำดับขั้นตอนการทำงาน

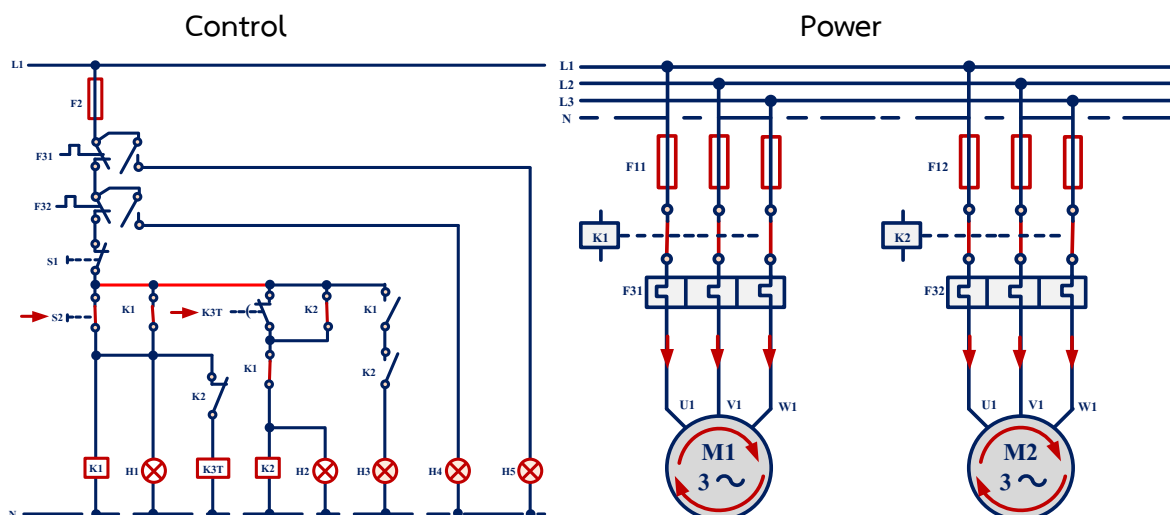
มอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) จะทำงานก่อน จากนั้นรอเวลาให้มอเตอร์ตัวที่ 2 (M) ทำงานเอง โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยหน้าคอนแทคของไทม์เมอร์เป็นตัวช่วย

1. กดสวิตช์ S2 จะทำให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K1 และไทม์เมอร์รีเลย์ K3T ทำงานเริ่มนับเวลาตามที่ตั้งไว้ โดยที่คอนแทคปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 2 จะล็อกให้ตัวเองทำงาน และคอนแทคปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 4 จะล็อกตัวเองเช่นกัน เพื่อเตรียมพร้อมหากหน้าคอนแทคของไทม์เมอร์รีเลย์ต่อวงจร



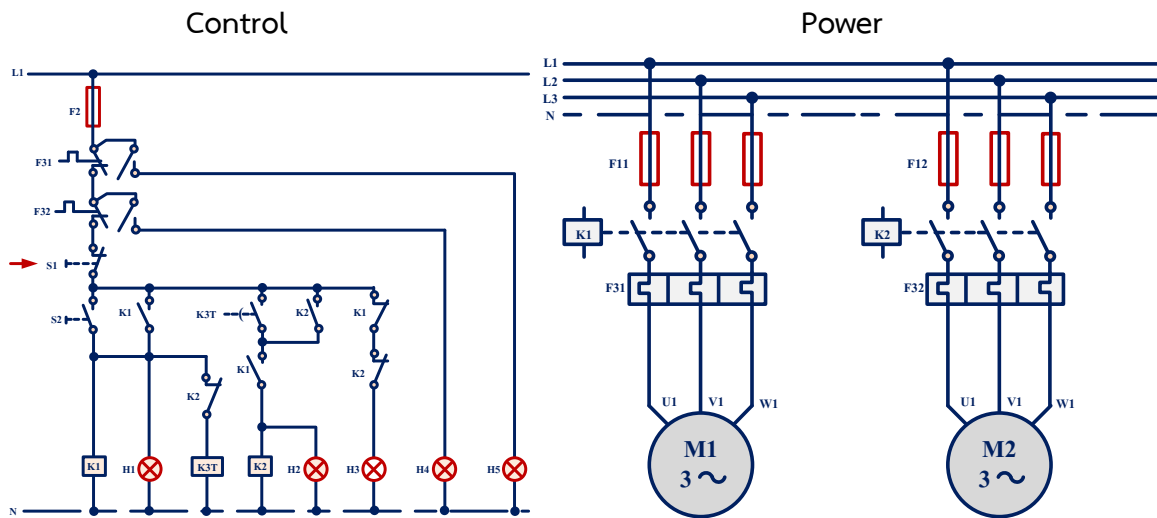
รูปที่ 5-31 สถานะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ S2

2. เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ คอนแทคปกติเปิดของไทม์เมอร์รีเลย์ K3T ในแถวที่ 4 จะต่อวงจรให้คอยล์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2 ทำงาน



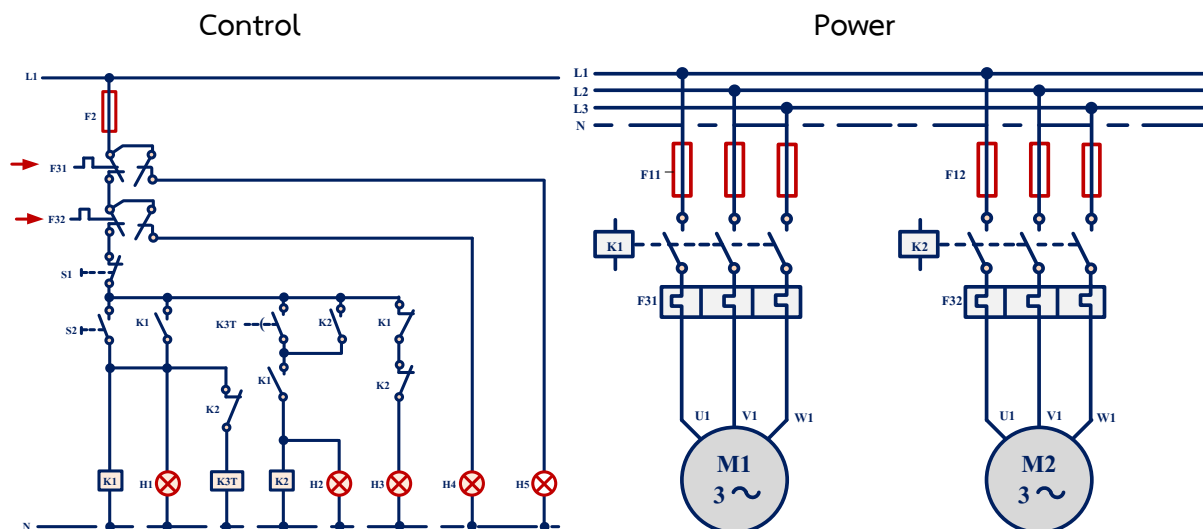
รูปที่ 5-32 วงจรให้คอยล์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2 ทำงาน

3. เมื่อกดสวิตช์ S1 มอเตอร์ทุกตัวจะหยุดหมุน



รูปที่ 5-33 สถานะการทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ S1

4. กดปุ่มรีเซ็ตของโอเวอร์โหลด F3, F4 หรือสถานะกระแสโหลดเกิด วงจรจะตัดการทำงานทันที



รูปที่ 5-34 สถานะโอเวอร์โหลด F3, F4

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

1. สวิตช์ปุ่มกด (Pushbutton Switch)

เป็นอุปกรณ์อินพุต (Input) ส่วนแรกเมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อควบคุมระบบการทำงาน

หลักการทำงาน จากโครงสร้างภายในตำแหน่งปกติหน้าสัมผัสจะไม่ต่อถึงกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านไปได้และตำแหน่งทำงานเมื่อมีแรงกดจากภายนอกเอาชนะแรงสปริงจะทำให้หน้าสัมผัสต่อถึงกัน มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ และถ้าเอามือกดปุ่มออก จะทำให้สวิตช์ปุ่มกด กลับมาอยู่ในตำแหน่งปกติ

2. คาร์ทริดจ์ฟิวส์ (Cartridge Fuse)

มีอยู่ 2 ชนิด คือ แบบกระบอกหรือแบบเฟอร์รูล (Ferrule) และแบบใบมีด (Knife Blade Type) เป็นฟิวส์ที่มักใช้ร่วมกับเซฟตี้สวิตช์ (Safety Switch)

ฟิวส์จะมีลักษณะเป็นกระบอกไฟเบอร์ที่มีหัวและท้ายเป็นโลหะตัวนำรูปทรงกระบอกหรือคล้ายใบมีดภายในบรรจุฟิวส์เส้นกับสิ่งที่ทำหน้าที่ระบายความร้อน และทำหน้าที่ดับประกายไฟเมื่อฟิวส์ขาดเป็นสารจำพวกทรายละเอียดหรือสารบางอย่าง ขนาดกระบอกที่สามารถทนได้มีค่าตั้งแต่ 2-1200 แอมป์ มีทั้งแบบที่ใช้กับสวิตช์นิรภัย และตลับกระเบื้อง ตัวคาร์ทริดจ์ฟิวส์นั้นมี 2 แบบ คือ แบบที่ถอดเปลี่ยนไส้ฟิวส์ได้และแบบที่ถอดเปลี่ยนไส้ฟิวส์ไม่ได้

3. โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Over Load Relay)

เป็นอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง หรือป้องกันมอเตอร์ ไม่ให้เกิดการเสียหาย เมื่อมีกระแสไหลเกินพิกัดในมอเตอร์

หลักการทำงาน

จากโครงสร้างภายในของโอเวอร์โหลดที่ประกอบไปด้วยเหล็กมีขดลวดตัวนำพันรอบอยู่ เมื่อมอเตอร์ทำงานหนักเกินกำลัง จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวนำสูงเกินพิกัดของโอเวอร์โหลดที่ตั้งไว้ ทำให้เกิดความร้อนที่ไบเมทัล ทำให้ไบเมทัลงอตัวไปดันก้านดันหน้าสัมผัส ทำให้หน้าสัมผัสที่ปิดจะเปลี่ยนเป็นเปิด และหน้าสัมผัสเปิด จะเปลี่ยนเป็นปิด และเมื่อกดปุ่มรีเซ็ตหน้าสัมผัสจะกลับคืนสภาพเดิม แต่ในกรณีที่โอเวอร์โหลดเป็นแบบไม่มีปุ่มรีเซ็ตจะต้องรอให้ไบเมทัลเย็นตัวลง หน้าสัมผัสถึงจะกลับคืนสู่สภาพเดิม

4. แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactortor)

เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยใช้อำนาจแม่เหล็กในการเปิด ปิดหน้าสัมผัส ในการควบคุมวงจรมอเตอร์เราสามารถเรียกอีกชื่อว่า สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) หลักการทำงาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กที่ขากลางของแกนเหล็กจะสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กจะสามารถชนะแรงสปริงได้ ดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่ เคลื่อนที่ลงมาในสภาวะเปิด

(ON) คอนแทกทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงานคือ คอนแทกปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และ คอนแทกปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทกทั้งสองชุดก็จะกลับไปสู่สภาวะเดิม

5. มอเตอร์ (Motor)

เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆ ให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรนั้นๆ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ มอเตอร์กระแสตรงและมอเตอร์กระแสสลับ โดยมอเตอร์กระแสตรงนิยมใช้กับงานที่ต้องการปรับความเร็วรอบได้ และงานที่ต้องการแรงบิดสูงๆ ส่วนมอเตอร์กระแสสลับมักนิยมใช้กับงานที่ต้องการความเร็วรอบที่มีค่าแน่นอน ไม่ต้องการการดูแลรักษามากนัก ซึ่งมอเตอร์กระแสสลับนั้น เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม

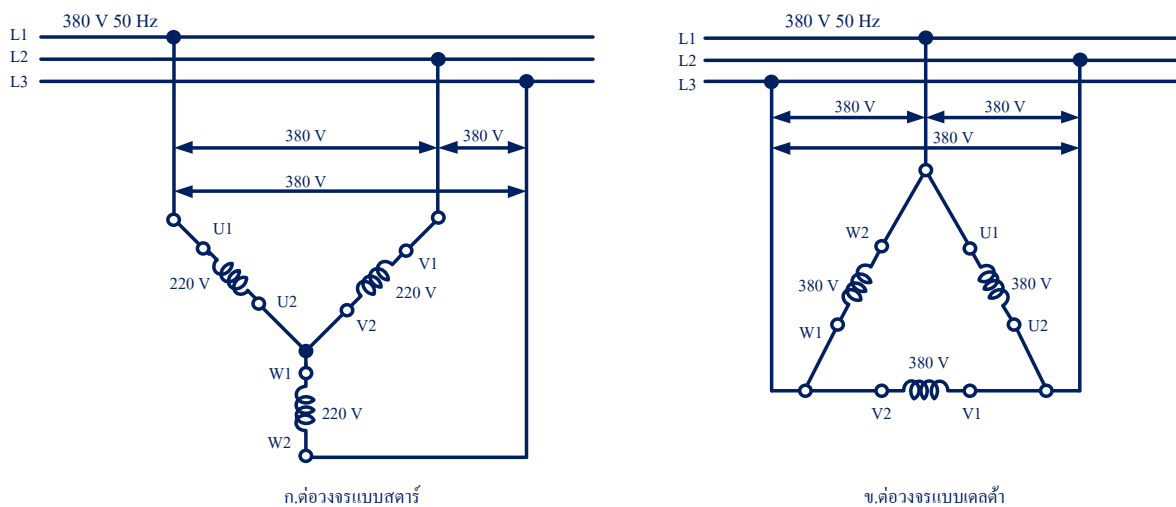
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า คือ ขดลวดในสเตเตอร์ และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปติดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่ สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การต่อวงจรเริ่มต้นมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ด้วยมือ		
สาระสำคัญ การเริ่มต้นแบบสตาร์-เดลต้า (Star-delta starter) นิยมใช้กับมอเตอร์ 3 เฟสชนิดเหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์ชนิดกรงกระรอก ที่มีขนาดตั้งแต่ 5 – 20 กิโลวัตต์ การเริ่มต้นมอเตอร์แบบนี้ เป็นวิธีลดกระแสโดยใช้เทคนิคการต่อวงจรและคุณสมบัติของการต่อวงจรแบบสตาร์-เดลต้า โดยมอเตอร์ที่จะนำมาเริ่มต้นแบบนี้ได้ขดลวดของมอเตอร์ต้องรับแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับแรงดันระหว่างไลน์กับไลน์ของระบบไฟฟ้าที่จ่าย เรื่องที่จะศึกษา 1. การต่อวงจรเริ่มต้นมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ด้วยมือ ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ จุดประสงค์การเรียนรู้ 1. รู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1. ต่อวงจรเริ่มต้นมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ด้วยมือ ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ได้ถูกต้อง 1.2. อธิบายการต่อวงจรเริ่มต้นมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ด้วยมือ ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ได้ 1.3. วิเคราะห์วงจรเริ่มต้นมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ด้วยมือ ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ได้		

5.8 การต่อวงจรเริ่มเดินมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ด้วยมือ

การเริ่มเดินแบบสตาร์-เดลต้า (Star-delta starter) นิยมใช้กับมอเตอร์ 3 เฟสชนิดเหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์ชนิดกรงกระรอก ที่มีขนาดตั้งแต่ 5 – 20 กิโลวัตต์ การเริ่มเดินมอเตอร์แบบนี้ เป็นวิธีลดกระแสโดยใช้เทคนิคการต่อวงจรและคุณสมบัติของการต่อวงจรแบบสตาร์-เดลต้า โดยมอเตอร์ที่จะนำมาเริ่มเดินแบบนี้ได้ ขดลวดของมอเตอร์ต้องรับแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับแรงดันระหว่างไลน์กับไลน์ของระบบไฟฟ้าที่จ่าย

ขณะที่มอเตอร์เริ่มทำงานจะต่อวงจรแบบสตาร์ เมื่อกระแสเริ่มเดินลดลงเป็นกระแสตามปกติแล้ว จะเปลี่ยนการต่อวงจรเป็นแบบเดลต้า ขดลวดแต่ละเฟสจะรับแรงดันตามปกติที่แผ่นป้ายกำหนด



รูปที่ 5-35 เปรียบเทียบแรงดันตกคร่อมขดลวด เมื่อต่อวงจรมอเตอร์ ก. แบบสตาร์ และ ข. แบบเดลต้า

5.8.1 ขณะเริ่มเดินต่อวงจรแบบสตาร์กระแสจะลดลงโดยพิจารณาจาก

ก) พิจารณาจากแรงดันไฟฟ้า เมื่อต่อวงจรแบบสตาร์ปลายขั้วของมอเตอร์แต่ละเฟสจะต่อลงนิวตรอน แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละเฟส จึงเป็นแรงดันระหว่างไลน์กับนิวตรอน ขดลวดต้องการแรงดัน 380 V เนื่องจากขณะทำงานปกติมอเตอร์ต่อวงจรแบบเดลต้าขดลวดแต่ละขดได้รับแรงดันระหว่างไลน์กับไลน์ แต่ขดลวดได้รับแรงดันเพียง 220 V เพราะการต่อวงจรแบบสตาร์ขดลวดได้รับแรงดัน ระหว่างไลน์กับนิวตรอน ดังนั้น เมื่อต่อแบบสตาร์ขดลวดได้รับแรงดันลดลง $\sqrt{3}$ เท่า กระแสจึงลดลง $\sqrt{3}$ เท่าด้วย

ข) พิจารณาจากกระแสไฟฟ้า สนามแม่เหล็กที่ถูกเหนี่ยวนำเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดจำนวนหนึ่ง ในการต่อแบบสตาร์กระแสจากไลน์จะจ่ายให้ขดลวดเพียงเฟสเดียว แต่ในวงจรแบบเดลต้าพบว่ากระแสจากไลน์จะต้องจ่ายให้ขดลวดสองเฟส

ในวงจรแบบเดลต้า $IL = \sqrt{3} \times IP$

ในวงจรแบบสตาร์ $IL = IP$

เมื่อต่อแบบสตาร์กระแสในไลน์น้อยกว่าแบบเดลต้า $\sqrt{3}$ เท่า

นำข้อ ก) และ ข) มาพิจารณารวมกัน

ก) พิจารณาจากแรงดันลดลง $\sqrt{3}$ เท่า

ข) พิจารณาจากแรงดันลดลง $\sqrt{3}$ เท่า

ดังนั้น จาก ก) และ ข) กระแสจะลดลง $= \sqrt{3} \times \sqrt{3}$

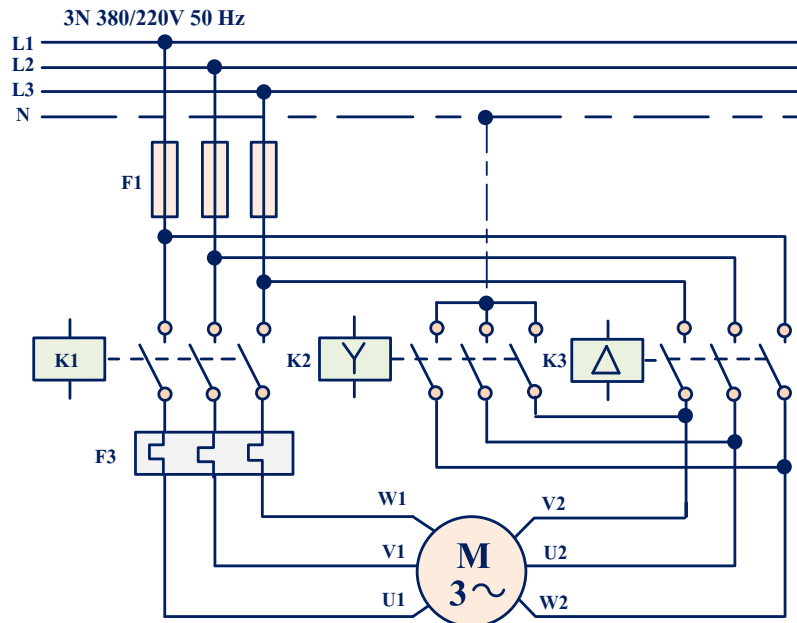
5.8.2 เมื่อเริ่มเดินแบบสตาร์ กระแสจะมีค่าลดลง 3 เท่า ของกระแสขณะเริ่มเดินแบบไม่ลดกระแส

จากการที่กระแสขณะเริ่มเดินลดลง 3 เท่า แรงบิดเริ่มหมุน (Starting torque) ของมอเตอร์ก็จะลดลง 3 เท่าเช่นกัน ดังนั้น ในขณะการเริ่มเดินแบบสตาร์เดลต้า จึงไม่ควรให้มอเตอร์เริ่มเดินที่โหลดเต็มพิกัด ต่อเมื่อมอเตอร์ทำงานปกติแล้วจึงค่อยเพิ่มโหลดเข้าไปการกำหนดขนาดโอเวอร์โหลดรีเลย์ ในขณะที่มอเตอร์ทำงานตามปกติจะต้องวงจรแบบเดลต้าจะเห็นว่าโอเวอร์โหลดรีเลย์ ไม่ได้ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายโดยตรงแต่ต่ออยู่ในวงจรขดลวด การกำหนดขนาดจึงต้องพิจารณากระแสที่ไหลในขดลวด ดังนี้

ให้กระแสเต็มพิกัดมอเตอร์	= 100 %
กระแสที่ไหลในขดลวดมอเตอร์	= 100 % / $\sqrt{3}$
กระแสที่ไหลผ่านโอเวอร์โหลดรีเลย์	= 100 % / $\sqrt{3}$
	= 58 %

5.8.3 การเริ่มเดินแบบสตาร์ เดลต้า ด้วยคอนแทคเตอร์

การเริ่มเดินแบบสตาร์ เดลต้าด้วยคอนแทคเตอร์เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะมีความสะดวกปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงาน



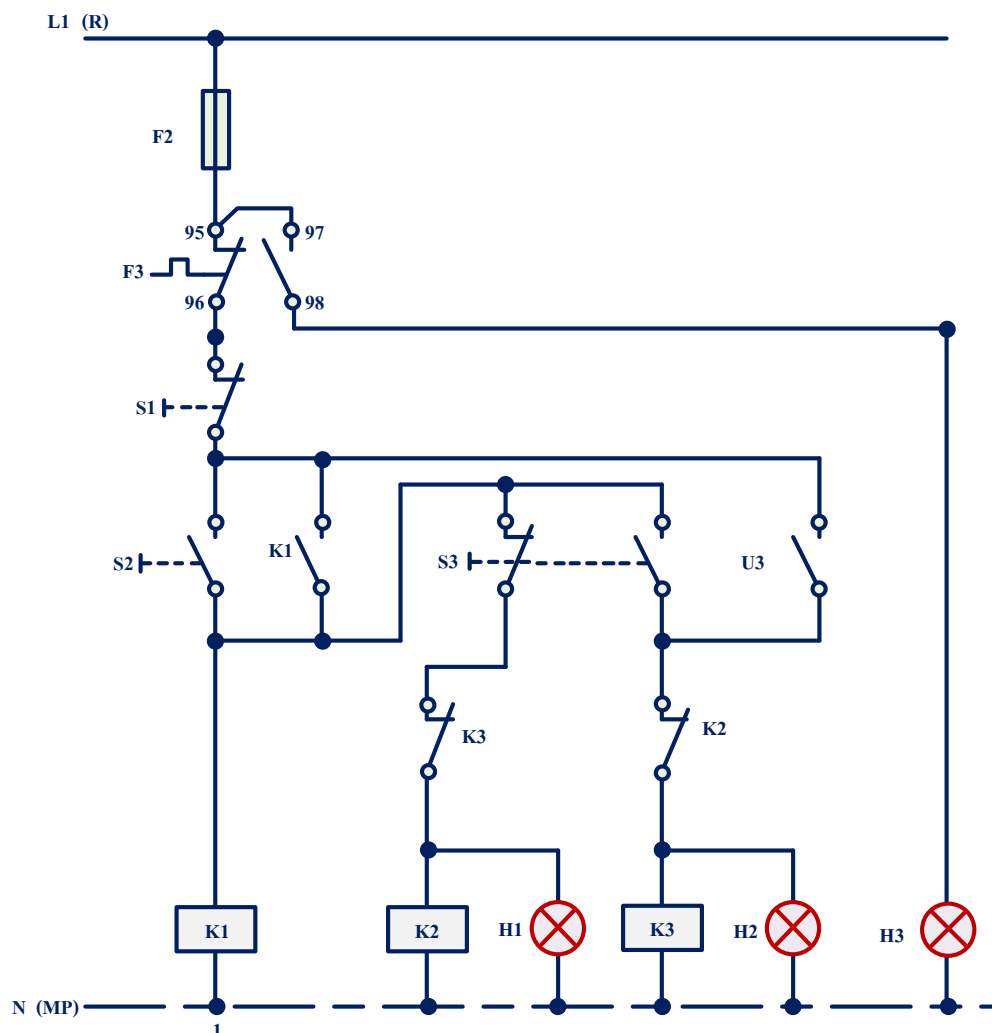
รูปที่ 5-36 แสดงวงจรกำลังการเริ่มเดินมอเตอร์ 3 เฟสแบบสตาร์ เดลต้า ด้วยคอนแทคเตอร์

การทำงานของวงจร การทำงานมี 2 ขั้นตอน คือ

- 1) ขณะเริ่มเดินมอเตอร์ มอเตอร์ต่อวงจรแบบสตาร์ K1 และ K2 ทำงาน โดย
K1 ทำหน้าที่ต่อวงจร L1ต่อกับ W1 L2 ต่อกับ V1 L3ต่อกับ U2
K2 ทำหน้าที่ ต่อ U2, V2 และ W2 เข้าด้วยกัน
- 2) ขณะมอเตอร์ทำงาน มอเตอร์ต่อวงจรแบบเดลต้า K1 และ K3 ทำงาน โดย
K1 ทำหน้าที่ต่อวงจร L1ต่อกับ U1 L2 ต่อกับ V1 L3 ต่อกับ W1
K3 ทำหน้าที่ต่อวงจร L1ต่อกับ W2 L2 ต่อกับ U2 L3 ต่อกับ V2

ข) วงจรควบคุมวงจรควบคุมออกแบบการทำงานได้ 2 วิธี คือ การกำหนด เวลาเริ่มเดินด้วยมือและการกำหนดเวลาเริ่มเดินอัตโนมัติ

1. การกำหนดเวลาเริ่มเดินด้วยมือ การเปลี่ยนการต่อวงจรจากสตาร์เป็นเดลต้าจะถูกกำหนดเวลาด้วย ผู้ควบคุมผ่านสวิทช์ปุ่มกด



รูปที่ 5-37 แสดงวงจรควบคุมด้วยมือการเริ่มเดินมอเตอร์ 3 เฟสด้วยคอนแทกเตอร์

การทำงานของวงจร การทำงานมี 2 ขั้นตอน คือ

ก) ขณะเริ่มเดินมอเตอร์ มอเตอร์ต่อวงจรแบบสตาร์ K1 และ K2 ทำงาน ในแถวที่ 1 กดสวิทช์ S2 กระแสจากไลน์ผ่าน F2 หน้าสัมผัส F3, S1, S2 และขดลวด K1 ควบคุมวงจรที่นิวตรอน K1 ทำงาน หน้าสัมผัส K1 ในแถวที่ 2 ทำหน้าที่ Self-holding ขดลวด K2 จะควบคุมวงจรและทำงานด้วยหลอดสัญญาณ H1 สว่าง แสดงการต่อวงจรแบบสตาร์ ส่วน K3 จะไม่ทำงาน

ข) ขณะมอเตอร์ทำงาน มอเตอร์ต่อวงจรแบบเดลต้า K1 และ K3 ทำงาน โดย กด S3 ในแถวที่ 4 K2 จะถูกตัดวงจรให้หยุดทำงาน ขดลวด K3 ในแถวที่ 5 จะทำงาน หลอดสัญญาณ H2 สว่างแสดงการต่อวงจรแบบเดลต้า

5.8.4 การสตาร์ทมอเตอร์ทั้ง 4 แบบ

การสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น

1) การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง (Direct on Line Starter)

เป็นการสตาร์ทด้วยการใช้แรงดันเต็มพิกัด นิยมใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดเล็ก โดยที่มอเตอร์จะถูกต่อผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สวิตช์ คอนแทคเตอร์ เบรกเกอร์ เป็นต้น โดยใช้แรงดันพิกัดทันทีทันใด ทำให้กระแสที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 6 – 8 เท่าของกระแสพิกัดในภาวะปกติ

2) การสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้หม้อแปลงอัตโนมัติ (Auto-Transformer Starter)

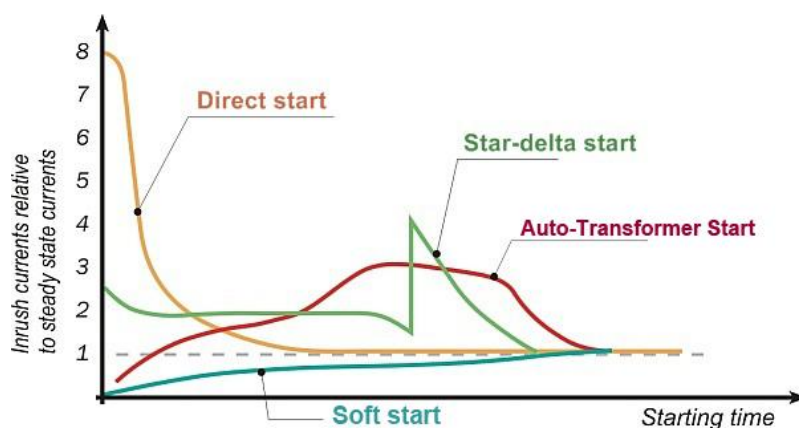
เป็นวิธีการสตาร์ทมอเตอร์โดยการใช้ที่มีขดลวดหลายชุดที่สามารถเปลี่ยนแท็ปแรงดันได้หลายระดับ เช่น 55%, 65%, หรือ 80% ของแรงดันพิกัด โดยจะรักษาระดับแรงดันในช่วงที่มอเตอร์มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จนกว่าจะมีค่าสั่งให้สับมอเตอร์แต่ละระดับเข้าเป็นลำดับ จนกระทั่งเข้าสู่ระดับแรงดันเต็มพิกัด

3) การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ท-เดลต้า (Star-Delta Starter)

เป็นวิธีการสตาร์ทมอเตอร์ที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากทำได้ง่ายและเหมาะที่จะใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยมีหลักการทำงาน คือ ขณะที่ทำการสตาร์ทมอเตอร์จะทำการต่อแบบสตาร์ท ซึ่งช่วยลดกระแสขณะสตาร์ทได้ และเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนไปได้ระยะหนึ่งก็จะทำการต่อแบบเดลต้า

4) การสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟต์สตาร์ทเตอร์ (Electronic Soft Starter)

วิธีนี้มีหลักการ คือ ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่เข้าไปยังขดลวดมอเตอร์ โดยการปรับเพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์อย่างช้าๆ และนิมนวลจนถึงระดับแรงดันพิกัด ทำให้สามารถป้องกันกระแสอินรัชที่มีค่าสูงและป้องกันแรงกระแทกที่มีผลต่ออุปกรณ์ทางกลของมอเตอร์ นอกจากนี้ยังมีความแม่นยำ ความหลากหลาย และประสิทธิภาพในการป้องกันมอเตอร์สูงอีกด้วย



รูปที่ 5-38 กระแสไฟฟ้าในการสตาร์ทแบบต่างๆกับมอเตอร์ไฟฟ้า

เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าในการสตาร์ทแบบต่างๆกับมอเตอร์ไฟฟ้า พบว่าการสตาร์ทแบบซอฟต์สตาร์ทไม่มีกระแสกระชากเลย จึงไม่เกิดผลเสียต่างๆในระบบไฟฟ้าของโรงงานทั้งยังสตาร์ทต่ำที่สุด จึงประหยัดพลังงานกว่าแบบอื่นๆ

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	เวลาเรียน 6 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การต่อวงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดสองความเร็ว		
สาระสำคัญ มอเตอร์ 3 เฟส ชนิดสองความเร็ว หรือที่เรียกว่ามอเตอร์แบบดาลันเดอร์ (Dahlander Motor) สามารถเปลี่ยนความเร็วได้โดยเปลี่ยนวงจรของขดลวดที่สเตเตอร์ (Staor) จะทำให้จำนวนขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไป แต่การเปลี่ยนจำนวนขั้วดังกล่าวนั้นจะเป็น 2 เท่าเสมอ เช่น เปลี่ยนจาก 2 ขั้วเป็น 4 ขั้ว หรือ จาก 4 ขั้วเป็น 8 ขั้ว ดังนั้น อัตราส่วนของความเร็วจึงเป็น 1 : 2 เสมอ เรื่องที่จะศึกษา 1. การต่อวงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดสองความเร็ว จุดประสงค์การเรียนรู้ 1. เรียนรู้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.1. วงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดสองความเร็วถูกต้อง 1.2. อธิบายการต่อวงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดสองความเร็วได้ 1.3. วิเคราะห์วงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดสองความเร็วได้		

5.9 การควบคุมมอเตอร์ชนิดสองความเร็ว

มอเตอร์ 3 เฟส ชนิดสองความเร็ว หรือที่เรียกว่ามอเตอร์แบบดาลันเดอร์ (Dahlander Motor) สามารถเปลี่ยนความเร็วได้โดยเปลี่ยนวงจรของขดลวดที่สเตเตอร์ (Stator) จะทำให้จำนวนขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไป แต่การเปลี่ยนจำนวนขั้วดังกล่าวนั้นจะเป็น 2 เท่าเสมอ เช่น เปลี่ยนจาก 2 ขั้วเป็น 4 ขั้ว หรือ จาก 4 ขั้ว เป็น 8 ขั้ว ดังนั้น อัตราส่วนของความเร็วจึงเป็น 1:2 เสมอ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$N = \frac{120f}{P} \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบของมอเตอร์ เป็นรอบต่อนาที

F = ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่ายไฟเป็นเฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าคงที่ 50 Hz

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กที่พันขดลวดบนสเตเตอร์

ตัวอย่าง เช่น มอเตอร์ที่มี 2 ขั้ว จะหมุนด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที แต่ถ้าต่อวงจร ขดลวดให้เป็น 4 ขั้วจะหมุนด้วยความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที นั่นคือ ความเร็วสูงกับความเร็วต่ำจะต่างกัน 2 เท่า ดังที่กล่าวข้างต้น สำหรับโครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์แบบนี้คล้ายกับมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชันมอเตอร์ ทุกประการเพียงแต่นำขนาดความหนาของสเตเตอร์อาจจะออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อให้มอเตอร์ได้กำลังม้าคงที่หรือแรงบิดคงที่ เมื่อความเร็วรอบในการหมุนเปลี่ยนไป

5.9.1 ชนิดของมอเตอร์สองความเร็ว

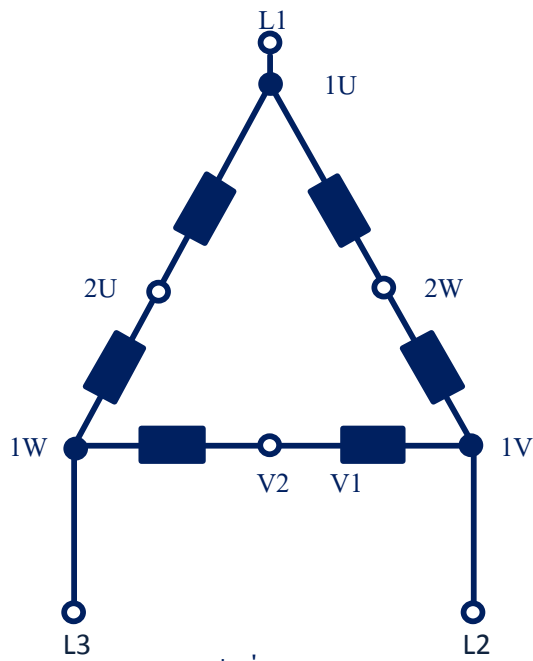
มีหลายแบบตามการออกแบบของผู้ผลิต ดังนี้

1. แบบแรงม้าคงที่ (Constant Horsepower Motor) แบบนี้ให้กำลังหรือแรงม้าคงที่แม้ว่าความเร็วรอบในการหมุนจะเปลี่ยนแปลงไป
2. แบบแรงบิดคงที่ (Constant Torque Motor) แบบนี้จะให้แรงบิดขณะเริ่มเดินและแรงบิดระหว่างทำงานคงที่สม่ำเสมอ แม้จะความเร็วรอบในการหมุนจะเปลี่ยนไป ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ เครื่องอัดอากาศ สายพานลำเลียง เป็นต้น
3. แบบแรงบิดเปลี่ยนแปลง (Variable Torque Motor) แบบนี้จะให้แรงบิดและแรงม้าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มสูงขึ้น

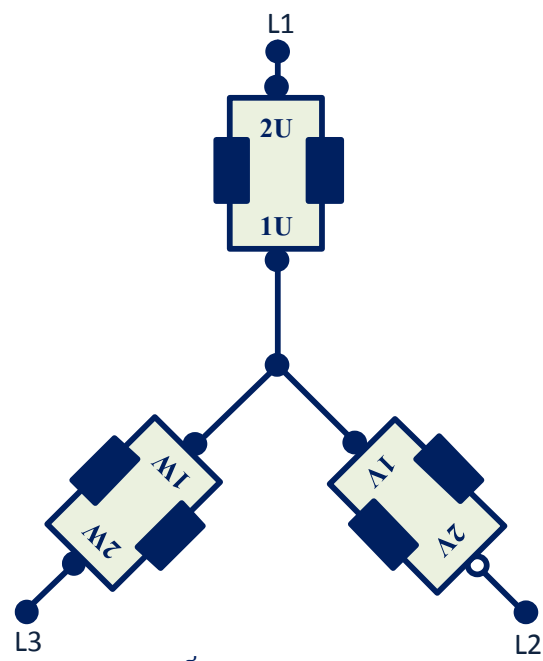
5.9.2 การเปลี่ยนระดับความเร็ว

สำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็ว ทำได้โดยการเปลี่ยนจุดต่อขดลวดภายในมอเตอร์ 2 ลักษณะ คือ

1. Series – Delta ทำให้ขั้วแม่เหล็กเพิ่ม ความเร็วรอบจะต่ำ (LOW Speed)
2. Parallel – Star ทำให้ขั้วแม่เหล็กลดลง ความเร็วรอบจะสูงขึ้น (High Speed)



(ก) ความเร็วต่ำ (Serie – Delta)



(ข) ความเร็วสูง (Parallel – Star)

รูปที่ 5-27 แสดงไดอะแกรมการต่อขดลวดของมอเตอร์ชนิดสองความเร็ว

การต่อวงจรขดลวดเพื่อให้ได้ความเร็วต่ำหรือสูง จะต้องจ่ายไฟเข้ามอเตอร์ ดังนี้

ความเร็วต่ำ

L1 ต่อกับ 1U

L2 ต่อกับ 1V

L3 ต่อกับ 1W

2U – 2V – 2W เปิดวงจรได้

ความเร็วสูง

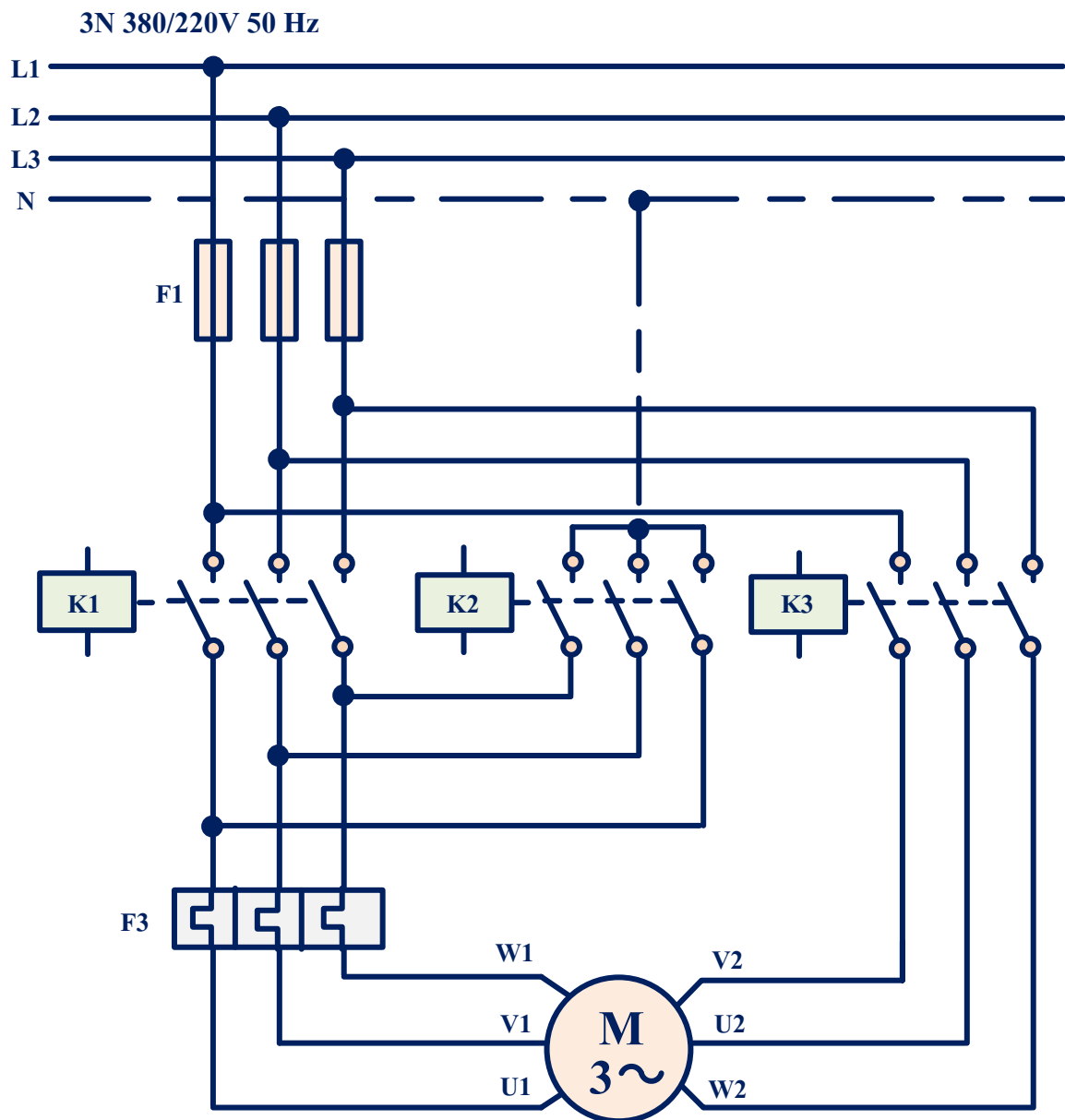
L1 ต่อกับ 2U

L2 ต่อกับ 2V

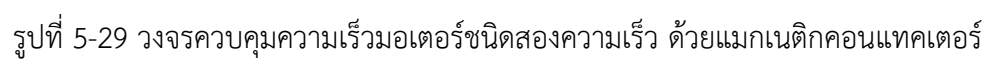
L3 ต่อกับ 2W

1U – 1V – 1W ต่อรวมกันไว้

สำหรับการควบคุมความเร็วด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ จะต้องใช้จำนวน 3 ตัว ดังรูปที่ 2 เมื่อคอยล์ K1 ทำงาน มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วต่ำ และเมื่อคอยล์ K2,K3 ทำงานมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วสูง



รูปที่ 5-28 วงจรกำลังควบคุมความเร็วมอเตอร์ชนิดสองความเร็ว ด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์



5.10 ชุดควบคุมมอเตอร์ชนิดปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drive: VSDs)

ชุดควบคุมมอเตอร์ชนิด VSD จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าด้านเข้าที่มีความถี่คงที่ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้านออกที่ปรับเปลี่ยนความถี่ได้ ความถี่ที่ปรับเปลี่ยนได้นี้จะทำให้ชุดควบคุมมอเตอร์สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ตามต้องการ ยกตัวอย่างเช่น สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่ำ และสร้างพลังงานไฟฟ้าที่มีความถี่สูงเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้น

ความถี่ที่ชุดควบคุมมอเตอร์สร้างขึ้นสามารถเปลี่ยนแปลงให้มอเตอร์สร้างแรงบิดตามที่ต้องการได้ ดังนั้นชุดควบคุมมอเตอร์และตัวมอเตอร์สามารถทำงานร่วมกันในการขับเคลื่อนโหลดขนาดใหญ่ที่ความเร็วรอบต่ำและขับเคลื่อนโหลดขนาดเล็กที่ความเร็วรอบสูงขณะที่มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด

ข้อดีของการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

- สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้ ทำให้เลือกใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมตามความต้องการของงานแต่ละประเภท
- มีการควบคุมความเร็วรอบแบบวงปิด (Closed loop control) ทำให้ระบบมีการทำงานที่แม่นยำและมีเสถียรภาพอยู่ตลอดเวลา
- เป็นการเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานให้ถูกต้องตามความต้องการ เนื่องจากระบบมีความแม่นยำมากขึ้น ทำให้ช่วยลดต้นทุนการผลิต
- ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องจักร และป้องกันการสูญเสียจากการทำงานของมอเตอร์ พัดลมและปั้มน้ำ
- ลดการกระชากไฟตอนเริ่มต้น ทำให้ลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand) ลงได้
- ประหยัดพลังงาน โดยใช้พลังงานตามความจำเป็นของภาระ

5.11 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ตามความต้องการของภาระ

เมื่อก่อนนั้นการควบคุมปริมาณการไหลของปั้มน้ำ พัดลมและโบล์วเวอร์ มักทำโดยให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วตามปกติแล้วควบคุมปริมาณการไหลโดยใช้วาล์ว (Valve) หรือแดมเปอร์ (Damper) วิธีนี้ใช้อุปกรณ์ราคาถูกแต่ประสิทธิภาพต่ำจึงต้องเสียค่าใช้จ่ายแพงมาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้เปลี่ยนมาใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable speed drive) ในการควบคุมปริมาณการไหลเพื่อประหยัดพลังงาน

การปรับความเร็วของมอเตอร์ทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์เพิ่มขึ้น 10% หรือโดยเฉลี่ยความเร็วรอบลดลง $\frac{3}{4}$ เท่าของความเร็วเดิม

5.12 วิธีการอนุรักษ์พลังงานเกี่ยวกับสายพานมอเตอร์

5.12.1 การปรับความตึงของสายพานมอเตอร์

สายพานหย่อนทำให้เกิดการเสียดทานเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้มอเตอร์ต้องใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงควรปรับความตึงของสายพานให้เหมาะสมซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ ทางโรงงานทำการปรับตั้งความตึงของสายพานใหม่ สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้

สายพานหากตึงมากเกินไปจะทำให้สายพานและรองเพลาสึกหรือเร็วขึ้น หากหย่อนมากก็จะเกิดการลื่นไถลส่งกำลังได้ไม่ดีเท่าที่ควร ด้วยเหตุนี้จะต้องมีการปรับตั้งสายพานตามที่ผู้ผลิตกำหนดมา โดยกระทำได้ดังนี้

- 1) ดูค่าแรงตึงดัดและระยะดัดของสายพานจากคู่มือผู้ผลิต
- 2) ใช้เกจวัดแรงตึงบริเวณกึ่งกลางความยาวของสายพาน - วัดอ่านค่าระยะดัดสายพาน
- 3) ปรับความตึงตามค่าที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยการปรับสกรูที่ฐานมอเตอร์
- 4) เช็ความตึงของสายพานด้วยเกจสปริงวัดแรงและบรรทัดเหล็ก
- 5) ปรับความตึงจนได้ค่าถูกต้อง
- 6) ยึดน็อตฐานมอเตอร์และล็อกสกรูปรับให้แน่น

5.12.2 การบำรุงรักษาสายพาน

สายพานแบน : สายพานที่ทำจากหนังเมื่อใช้งานไปนาน ๆ ผิวสัมผัสจะเกิดเป็นมัน ซึ่งอาจเกิดจากการตึงสายพานไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการลื่นไถลนั้น ห้ามนำมาเทเรซินเด็ดขาด เพราะเรซินทุกชนิดจะทำให้สายพานเสียหาย สายพานหนังที่มีผิวสัมผัสมัน จะนิยมใช้น้ำสบู่พออุ่นและแปรงขัดออก (ห้ามใช้แปรงลวดที่แข็งและคม) หลังจากปล่อยให้แห้งแล้วนำมาทาด้วยน้ำมันสัตว์หรือน้ำมันพืชหรือจาระบี - ปล่อยให้แห้งให้ซึมเข้าไปในสายพาน (ทำให้สายพานอ่อนตัว) - หลังจาก 2 ชั่วโมง หากยังมีเศษน้ำมันหรือจาระบีที่สายพานไม่สามารถดูดซึมต่อไปแล้วให้ใช้ผ้าเช็ดออกให้แห้ง

สายพานลิ่ม : จะห้ามมิให้น้ำมันหรือจาระบีสัมผัสสายพานลิ่มเด็ดขาด หากมีสามารถหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีน้ำมันหรือจาระบีได้แล้ว ก็ให้ใช้สายพานลิ่มพิเศษที่ทำจากยางเปอูนา ในการใช้เรซินก็จะทำให้เกิดการเสียหายแก่สายพานเช่นกัน การใช้สายพานลิ่มที่อุณหภูมิเกินกว่า 70 องศาเซลเซียส จะทำให้สายพานเสื่อมสภาพเร็ว

ในการปรับตั้งสายพานมากเกินไปจะมีผลให้ขาดเร็วก่อนกำหนด สำหรับกรณีที่มีสายพานในร่องล้อสายพานหลายเส้นมีเสียหาย 1 เส้น ก็จะต้องเปลี่ยนใหม่ทุกเส้นทั้งชุดเสมอ

5.12 การบำรุงรักษา Bearing

เครื่องมือกลแทบทุกชนิด จะต้องประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักที่สำคัญชิ้นส่วนหนึ่ง คือ Bearing (ตลับลูกปืน) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ รองรับและประคองการหมุนของเพลลา ทั้งเพลางาน และ เพลาชุดเฟืองทด รอบ นอกจากนี้ ตลับลูกปืนยังทำหน้าที่ถ่ายทอดหรือส่งถ่ายแรงที่เกิดขึ้นจากการทำงานบนเพลลา ให้ผ่านลงไปสู่ฐานเครื่อง หากเปรียบหน้าที่การทำงานของ Bearing (ตลับลูกปืน) กับส่วนอื่นๆ ของเครื่องมือกลแล้ว จะเห็นได้ว่าตลับลูกปืนเป็นจุดวิกฤตจุดหนึ่งของเครื่องมือกล เพราะเป็นชิ้นส่วนที่ต้องทำหน้าที่หลายๆ อย่างในขณะเดียวกัน

ดังนั้น ชิ้นส่วนที่หมดสภาพการใช้งานหรือเสียหายจึงมักเกิดขึ้นที่ Bearing (ตลับลูกปืน) การเลือกชนิดของตลับลูกปืน การถอดและประกอบตลับลูกปืน รวมถึงการบำรุงรักษาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในงานเครื่องมือกล

ตลับลูกปืนซึ่งจะทำหน้าที่ลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้สามารถลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร และเมื่อความเสียดทานลดลง จึงช่วยเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของเครื่องลดการสึกหรอมีผลให้การดูแลรักษาง่ายขึ้น

ประเภทของ Bearing (ตลับลูกปืน)

โดยหลักทั่วไปแบ่งออกได้ 2 แบบ

1. แบบเม็ดกลม

2. แบบเม็ดยาว ด้วยการออกแบบของเม็ดลูกกลิ้งที่แตกต่างกัน ทำให้ตลับลูกปืนที่มีมิติขนาดเท่ากันเม็ดยาวจะมีความสามารถในการรับแรงมากกว่าเม็ดกลม แต่มีความสามารถในการทำงานที่ความเร็วรอบต่ำกว่าเม็ดกลมเนื่องจากความเสียดทานที่สูงกว่าของผิวสัมผัสนี้เอง

การบำรุงรักษา Bearing (ตลับลูกปืน) หน้าที่หลักของการหล่อลื่นตลับลูกปืน คือ การเน้นไปที่การป้องกันการสัมผัสกันของโลหะระหว่างเม็ดลูกกลิ้งและรางวิ่ง ก็เพื่อที่จะลดแรงเสียดทานและป้องกันการสึกหรอ หน้าที่รองของสารหล่อลื่น คือ การปกป้องตลับลูกปืนจากการกัดกร่อนและสิ่งปนเปื้อนภายนอก

มีตลับลูกปืนน้อยกว่า 20% หล่อลื่นด้วยน้ำมัน เราจะไม่เน้นไปที่การหล่อลื่นวิธีนี้ นอกจากนี้ การหล่อลื่นด้วยน้ำมันเป็นเรื่องที่ไม่ซับซ้อน คุณสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นคือ ความหนืดและชนิดของน้ำมัน

การหล่อลื่นควรใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่เหมาะสมกับความต้องการและมีปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่เพียงพอ ห้องเครื่องของเพลางานควรได้รับการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่มีอยู่ในห้องเครื่องตามคำแนะนำของผู้ผลิต

เครื่องมือกลอยู่เสมอ เครื่องมือกลควรจัดวางให้อยู่ในสถานที่ที่เหมาะสมและปราศจากฝุ่นละออง หรือ จัดหาสิ่งป้องกันเมื่อจำเป็น

การเลือกใช้น้ำมันจะขึ้นอยู่กับความหนืดที่ต้องใช้ในการหล่อลื่นที่เพียงพอแก่ตลับลูกปืนที่อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันแร่ (90%) , น้ำมันสังเคราะห์ (10%) , น้ำมันจากสัตว์และพืช (<1%)

โดยทั่วไปน้ำมันแร่เหมาะสมต่อการใช้งาน แต่ในบางกรณี น้ำมันชนิดอื่นมีความเหมาะสมมากกว่า น้ำมันจะต้องปราศจากสิ่งปนเปื้อนและทนต่อปฏิกิริยากับอากาศ (ออกซิเดชัน) การเกิดยางเหนียว และ การเสื่อมสภาพจากการระเหยตัว

ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันขึ้นอยู่กับสภาพการทำงาน(การปนเปื้อน,อุณหภูมิ)และคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดสามารถหาได้โดยการทดลองใช้งานและส่งน้ำมันเข้าตรวจวิเคราะห์คุณภาพในห้องทดลองเป็นระยะๆเท่านั้น

ในขณะทำงานการตรวจสอบสภาพตลับลูกปืนเป็นสิ่งสำคัญที่ควรทำอย่างสม่ำเสมอ ปัจจัยที่ต้องตรวจสอบ เช่น อุณหภูมิ, ความสั่นสะเทือนและการวัดระดับเสียง การตรวจสอบสิ่งเหล่านี้เป็นประจำ ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้และช่วยป้องกันความเสียหายที่ไม่คาดคิด เครื่องมือในขั้นตอนนี้ ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เสียง ความเร็วและความสั่นสะเทือน

แบบประเมินผลการเรียน หน่วยที่ 5

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

จงทำเครื่องหมาย X ลงข้อที่ถูกต้อง

1. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการสตาร์ทมอเตอร์แบบเรียงลำดับ

- A. การสตาร์ทมอเตอร์จะสตาร์ทมอเตอร์พร้อมกันทุกตัวโดยเริ่มจากรอบที่ต่ำและเร่งความเร็วขึ้น
- B. จะสตาร์ทมอเตอร์จะสตาร์ทเรียงกันทีละตัวเรียงตามลำดับ

ก. A ถูก B ผิด

ข. A ผิด B ถูก

ค. ผิดทั้งสองข้อ

ง. ถูกทั้งสองข้อ

2. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการหยุดมอเตอร์ของวงจรสตาร์ทมอเตอร์แบบเรียงลำดับ

- A. เมื่อมอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดทำงานเกินกำลังมอเตอร์จะหยุดพร้อมกันทั้งสองตัว
- B. เมื่อมอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดทำงานเกินกำลังมอเตอร์จะค่อยๆหยุดทีละตัว

ก. A ถูก B ผิด

ข. A ผิด B ถูก

ค. ผิดทั้งสองข้อ

ง. ถูกทั้งสองข้อ

3.การควบคุมแบบ Manual Sequence Control และการควบคุมแบบ Automatic Sequence Control มีอุปกรณ์ใดที่แตกต่างกัน

ก. คาร์ทริดจ์ฟิวส์

ข. โอเวอร์โวลต์รีเลย์

ค. รีเลย์หน่วงเวลา

ง. แมกเนติกคอนแทคเตอร์

4. หน้าที่ของ แมกเนติกคอนแทคเตอร์(Magnetic Contactortor) คือ

- ก. เป็นอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง
- ข. เป็นอุปกรณ์หน่วงเวลา
- ค. เป็นอุปกรณ์ช่วยปรับความเร็วรอบ
- ง. เป็นสวิตช์แม่เหล็ก

5. อุปกรณ์ใดเป็นอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง

ก. คาร์ทริดจ์ฟิวส์

ข. โอเวอร์โวลต์รีเลย์

ค. รีเลย์หน่วงเวลา

ง. แมกเนติกคอนแทคเตอร์

13. VSD คืออะไร

- | | |
|--|------------------------------------|
| ก. ชุดป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง | ข. อุปกรณ์ดับประกายไฟเมื่อฟิวส์ขาด |
| ค. ชุดควบคุมมอเตอร์ชนิดปรับความเร็วรอบ | ง. ถูกทุกข้อ |

14. ข้อดีของระบบ VSD คือ

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| ก. ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องจักร | ข. ลดการกระชากไฟตอนเริ่มต้น |
| ค. มีการควบคุมความเร็วรอบแบบวงปิด | ง. ถูกทุกข้อ |

15. การควบคุมมอเตอร์ชนิดสองความเร็วอัตราส่วนของความเร็วเป็นเท่าใด

- | | |
|--------|--------|
| ก. 1:2 | ข. 1:3 |
| ค. 1:4 | ง. 1:5 |

16. ข้อดีของการปรับความตึงของสายพานมอเตอร์ คือ

- | | |
|---|----------------------------------|
| ก. ช่วยประหยัดพลังงาน | ข. ช่วยยืดอายุการใช้งานของสายพาน |
| ค. ช่วยให้สายพานทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ | ง. ถูกทุกข้อ |

17. ข้อใดไม่ใช่การปรับความตึงของสายพาน

- | | |
|---|--|
| ก. ช่วยประหยัดพลังงาน | ข. ใช้เก้จวัดแรงตึงบริเวณกึ่งกลางความยาวของสายพาน |
| ค. ช่วยให้สายพานทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ | ง. ใช้เก้จวัดแรงตึงบริเวณที่สายพานสัมผัสกับมอเตอร์ |

18. กรณีที่สายพานในร่องล้อสายพานหลายเส้นมีการชำรุด 1 เส้น จะต้องทำอย่างไร

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| ก. เปลี่ยนเฉพาะเส้นที่ชำรุด | ข. เปลี่ยนทั้งเส้นที่ชำรุดและร่องล้อ |
| ค. เปลี่ยนใหม่ทุกเส้นทั้งชุดเสมอ | ง. ถ้ายังทำงานได้ยังไม่ต้องเปลี่ยน |

19. ประโยชน์ของ Bearing คือ

- | | |
|-------------------------------------|---|
| ก. รองรับและประคองการหมุนของเพลาลาน | ข. รองรับและประคองการหมุนของเพลาชุดเฟืองทดรอบ |
| ค. ลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส | ง. ถูกทุกข้อ |

20. ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับตลับลูกปืนแบบเม็ดยาว

- | | |
|---|----------------|
| A. มีความสามารถในการรับแรงมากกว่าเม็ดกลม | |
| B. มีความสามารถในการทำงานที่ความเร็วรอบต่ำกว่าเม็ดกลม | |
| ก. A ถูก B ผิด | ข. A ผิด B ถูก |
| ค. A ถูก B ถูก | ง. A ผิด B ผิด |



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



โครงการพัฒนาลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา



รายวิชาที่ 4

หม้อแปลงไฟฟ้า รหัส 2104-2104

หน่วยที่ 3,4 การทดสอบหาการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์
เตจเรกกูเลชั่นและประสิทธิภาพ

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พ.ศ. 2556

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านภาษา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สังคมศึกษา สุขศึกษาและพลศึกษาในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพช่างไฟฟ้ากำลังให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการและกระบวนการงานพื้นฐานด้านอุตสาหกรรม
4. เพื่อให้มีความรู้และทักษะในงานผลิตและงานบริการทางไฟฟ้าตามหลักการและกระบวนการในลักษณะครบวงจรเชิงธุรกิจ โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานช่างไฟฟ้ากำลังในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะพื้นฐานในการศึกษาต่อระดับสูงขึ้น
6. เพื่อให้สามารถเลือก ใช้ ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในงานอาชีพช่างไฟฟ้ากำลัง
7. เพื่อให้มีเจตคติและกิริยานิสัยที่ดีต่องานอาชีพ มีความริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์ ประหยัด อดทน มีวินัย มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด สามารถพัฒนาตนเองและทำงานร่วมกับผู้อื่น

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 2104-2104	ชื่อรายวิชา หม้อแปลงไฟฟ้า	1-3-2
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	สาขาวิชา ช่างไฟฟ้ากำลัง	
ทฤษฎีรวม 1 คาบ	ปฏิบัติรวม 3 คาบ	2 หน่วยกิต

จุดประสงค์รายวิชา

1. รู้เข้าใจโครงสร้าง หลักการทำงาน ชนิดและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. มีทักษะในการพันหม้อแปลงการนำไปใช้งานและการบำรุงรักษา
3. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน มีความระมัดระวังรอบคอบ ปลอดภัย เป็นระเบียบ สะอาดตรงต่อเวลา มีความซื่อสัตย์และความรับผิดชอบ

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ปฏิบัติงานถอด พันขดลวดต่อวงจร ประกอบชิ้นส่วนและทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ซ่อมบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับ โครงสร้าง ชนิด ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า และหม้อแปลงความถี่สูง หลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้า อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลง การออกแบบหม้อแปลงขนาดเล็ก การออกแบบฟอร์มหม้อแปลง (Bobbin) การพันขดลวด การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ การใช้งานและการบำรุงรักษา

หน่วยการสอน

รหัส 2104-2104 วิชา หม้อแปลงไฟฟ้า จำนวน 4 ชั่วโมง / สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวน ชั่วโมง
1	หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าและโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า	4
2	หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า	4
3,4	การทดสอบหาการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์เตจเรกกูเล-ชันและประสิทธิภาพ	4
5	หม้อแปลงสำหรับเครื่องวัดไฟฟ้า	4
ใบงานที่ 1	การออกแบบและการทำฟอร์มหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	12
ใบงานที่ 2	การพันขดลวด การเรียงแกนเหล็ก และการทดสอบ	4
6	หม้อแปลงไฟฟ้าแบบรวมขดลวดและการขนานหม้อแปลงไฟฟ้า	4
ใบงานที่ 3	การตรวจสอบหม้อแปลง ไฟฟ้าเพื่อหาอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า (a)	4
ใบงานที่ 4	การหาค่าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Copper Loss)	2
ใบงานที่ 5	การหาค่าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า (Core loss)	2
ใบงานที่ 6	การตรวจหาขั้วหม้อแปลงไฟฟ้า (Polarity marking)	2
ใบงานที่ 7	การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer in parallel Operation)	2
ใบงานที่ 8	การต่อหม้อแปลงใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส แบบเดลตา-เดลตา	2
ใบงานที่ 9	การต่อหม้อแปลงใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส แบบวาย-วาย	2
ใบงานที่ 10	การต่อหม้อแปลงใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 ตัว แบบเดลตา-วาย	4
ใบงานที่ 11	การต่อหม้อแปลงใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 ตัว แบบวาย-เดลตา	4
7	กาต่อหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส	4
ใบงานที่ 12	การต่อหม้อแปลงใช้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัว แบบวี-วี	4
	สอบปลายภาค	4
	รวม	72

เกณฑ์การประเมินผล
วิชา หม้อแปลงไฟฟ้า รหัส 2104-2104

รายการ	คะแนน
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20
2. ทดสอบ	
2.1 แบบทดสอบหลังเรียน	5
2.2 สอบปลายภาค	30
3. ภาระงาน	
3.1 แบบฝึกหัด	5
3.2 การปฏิบัติการทดลอง	30
3.3 รายงานผลการทดลอง	10
รวม	100

  กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 	ใบสาระการเรียนรู้	หน่วยที่ 3,4
	ชื่อวิชา หม้อแปลงไฟฟ้า	เวลาเรียน 4 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การทดสอบหาการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์เตจเรกกูเลชันและประสิทธิภาพ	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การทดสอบหาการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์เตจเรกกูเลชันและประสิทธิภาพ		

สาระสำคัญ

การหาค่าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถหาได้โดยการทดสอบหาค่าสูญเสียในแกนเหล็ก หาได้โดยการวัดกำลังไฟฟ้าของขดลวดด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำขณะวงจรเปิด และการทดสอบหาค่าสูญเสียในขดลวด หาได้โดยการวัดกำลังไฟฟ้าของขดลวดด้านแรงดันไฟฟ้าสูงและลัดวงจรไฟฟ้าทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 5 % ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโวลต์เตจเรกกูเลชัน เป็นการเปลี่ยนแปลงหรือค่าความแตกต่างของค่าแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีโหลดและมีโหลดเต็มพิกัด สำหรับประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าคืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจ่ายออกไปกับกำลังไฟฟ้าที่ได้รับ

เรื่องที่จะศึกษา

1. วงจรเทียบเท่าของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ทดสอบเปิดวงจร
3. ทดสอบลัดวงจร
4. โวลต์เตจเรกกูเลชัน
5. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็กได้
2. บอกวิธีการทดสอบเปิดวงจร
3. บอกวิธีการทดสอบลัดวงจร
4. ระบุความหมายของโวลต์เตจเรกกูเลชันในหม้อแปลงไฟฟ้าได้
5. บอกสมการในการหาโวลต์เตจเรกกูเลชันในหม้อแปลงไฟฟ้าได้
6. คำนวณหาโวลต์เตจเรกกูเลชันในหม้อแปลงไฟฟ้าได้
7. คำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าได้
8. มีพัฒนาการคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ที่ผู้เรียนสามารถสังเกตเห็นได้ใน ด้านความมีมนุษยสัมพันธ์ ความมีวินัย ความรับผิดชอบ ความเชื่อมั่นในตนเอง ความสนใจใฝ่รู้ ความรักสามัคคี ความกตัญญูกตเวที

หน่วยที่ 3, 4

การทดสอบหาการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า โวลต์เตจเรกกูเลชันและประสิทธิภาพ

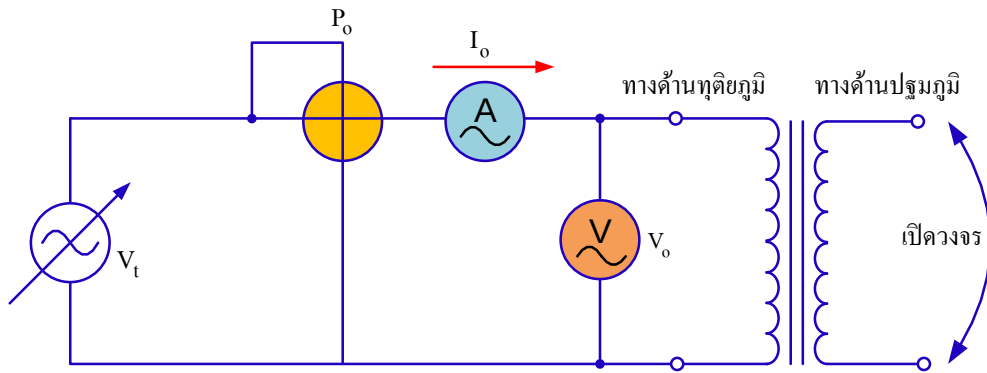
3.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

3.1.1 จุดประสงค์ของการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

จุดประสงค์ของการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อต้องการหาค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย การสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในขดลวดทองแดง และนำไปสู่การหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า นอกจากนี้การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ายังใช้หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนวงจรสมมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ามี 2 วิธี คือการทดสอบในสภาวะเปิดวงจรและการทดสอบในสภาวะลัดวงจร (มนตรี สุวรรณกิจกร, 2550: 151)

3.1.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร

การทดสอบแบบนี้สามารถกระทำได้ทั้ง 2 ด้านของตัวแปลงไฟฟ้า โดยการเปิดวงจรทางด้านใดด้านหนึ่ง ส่วนมากจะกระทำทางด้านทุติยภูมิแล้วเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิ เพราะการทดสอบแบบนี้จะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เท่ากับพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้จะน้อยกว่าทางด้านปฐมภูมิ การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร คือการให้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในลักษณะไม่มีโหลดโดยให้ด้านขดลวดทุติยภูมิต่อกับแรงดันไฟฟ้าตามพิกัด (Rated voltage) ของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนขดลวดทางด้านปฐมภูมิให้เปิดวงจรไว้โดยมีเครื่องวัดไฟฟ้าที่สำคัญต่ออยู่ด้วยคือ วัตต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ จากรูปที่ 3-1 เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านทุติยภูมิให้ได้ตามพิกัดแล้ว ซึ่งค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก ส่วนโวลต์มิเตอร์ที่ต่ออยู่จะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดและแอมมิเตอร์ที่อ่านได้จะเป็นค่าของกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด ซึ่งจะมีค่าประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์ของกระแสไฟฟ้าที่พิกัด ดังนั้น จึงทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากขดลวดน้อยมากและกำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์จึงเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมด



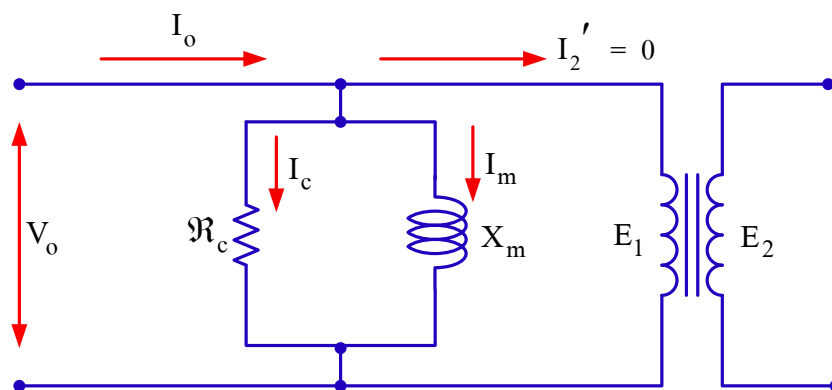
รูปที่ 3-1 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะเปิดวงจร

P_o = กำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์

V_o = แรงดันไฟฟ้าที่พิกัดที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์

I_o = กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์

จากวงจรการทดสอบ เขียนเป็นวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะเปิดวงจร

จากวงจรสมมูล รูปที่ 3-2 จะเห็นว่ากระแส I_o แยกไหลเป็นสองส่วน คือ กระแส I_c และกระแส I_m ส่วนกระแส I_2' มีค่าเท่ากับศูนย์เพราะขดลวดอีกทางด้านหนึ่งเปิดวงจร และเมื่อทราบค่าของกระแส I_o จะทำให้ทราบค่าในส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กและส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กค่าความต้านทานสมมูลของแกนเหล็ก และค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กได้ตามลำดับ ดังนี้

$$I_c = I_o \cos \theta_o \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$I_m = I_o \sin \theta_o \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

$$R_c = \frac{V_o}{I_c} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$X_m = \frac{V_0}{I_m} \quad \text{..... (3.4)}$$

เมื่อ	I_c	=	ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก
	I_m	=	ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก
	R_c	=	ค่าความต้านทานสมมูลของแกนเหล็ก
	X_m	=	ค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลแกนเหล็ก

นอกจากนี้ยังหามุมเฟสระหว่างแรงดันกับกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด ได้ดังนี้

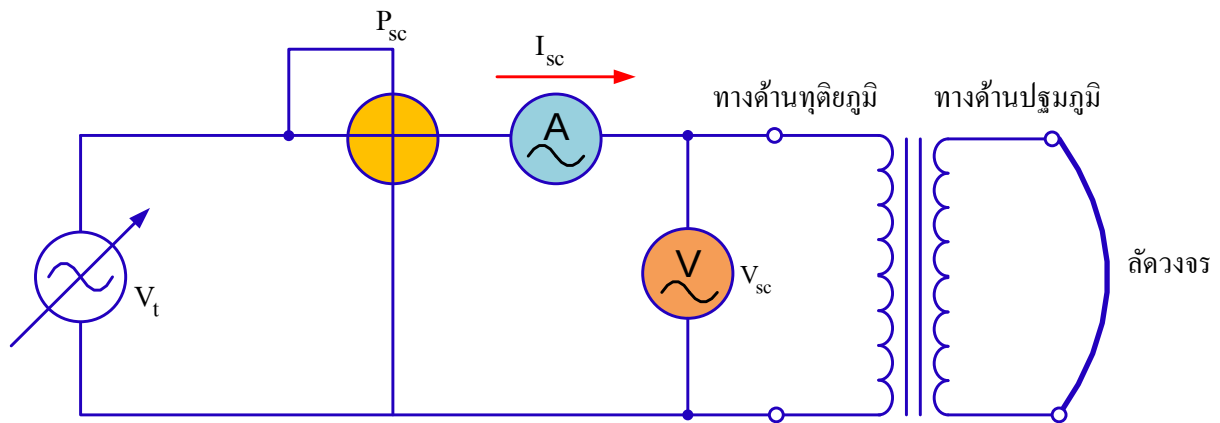
$$P_0 = V_0 I_0 \cos \theta_0 \quad \text{..... (3.5)}$$

$$\theta_0 = \cos^{-1} \left[\frac{P_0}{V_0 I_0} \right] \quad \text{..... (3.6)}$$

3.1.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

ในการทดสอบแบบนี้สามารถกระทำได้ทั้ง 2 ด้านของตัวหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการลัดวงจรทางด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งส่วนมากจะทดสอบทางด้านปฐมภูมิแล้วลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิเพราะการทดสอบแบบนี้จะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เท่ากับพิกัดทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งทางด้านปฐมภูมินั้นจะใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าทางด้านทุติยภูมิซึ่งแหล่งจ่ายไม่ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้ามาก

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจรคือให้ด้านขดลวดปฐมภูมิต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแล้วให้กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิเท่ากับพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยขดลวดทางด้านทุติยภูมิให้ลัดวงจรไว้ซึ่งมีเครื่องวัดไฟฟ้าที่สำคัญอยู่ด้วย คือ วัตต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ จากรูปที่ 3.3 ค่อยๆ ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ทางด้านปฐมภูมิให้แอมมิเตอร์อ่านค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับพิกัดกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดของทั้งสองด้าน (มนตรี สุวรรณภินคาร, 2550: 153) ส่วนโวลต์มิเตอร์ที่ต่ออยู่จะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจรซึ่งจะมีค่าประมาณ 5-12 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด ดังนั้นจึงทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กน้อย



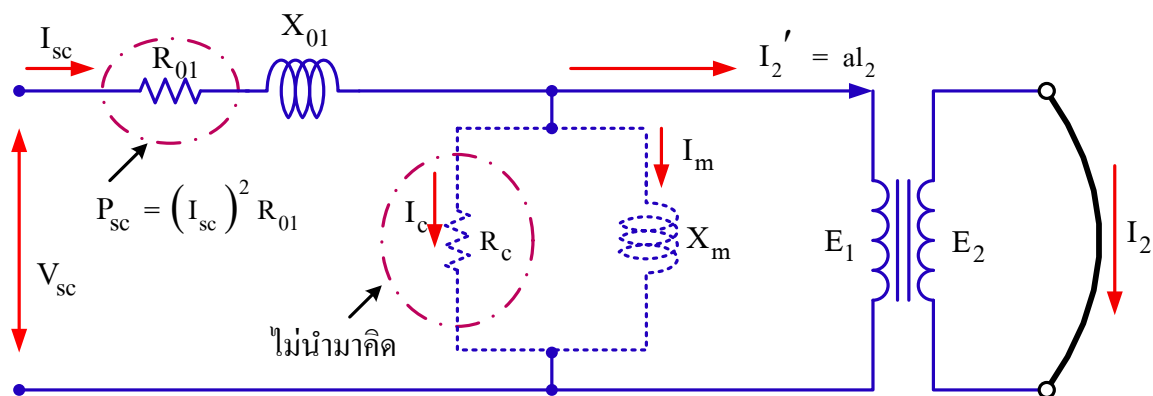
รูปที่ 3-3 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะลัดวงจร

จากรูปที่ 3-3 ถ้ากำหนดให้

- P_{sc} = กำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์
 V_{sc} = แรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์
 I_{sc} = กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรซึ่งเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่พิกัด

เนื่องจากแรงดัน V_{sc} ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าประมาณ 5-12 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด จึงทำให้กระแสไฟฟ้า I_0 มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด (กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กจึงไม่นำมาคิด เช่นเดียวกัน) เมื่อทราบค่าต่างๆจากเครื่องวัดไฟฟ้าทั้งสามจะสามารถหาค่าของอิมพีแดนซ์สมมูล ค่าความต้านทานสมมูลและค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิได้ตามลำดับ ดังนี้

จากวงจรการทดสอบเขียนเป็นวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะลัดวงจร ดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะลัดวงจร

$$Z_{01} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\text{และ} \quad R_{01} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\text{และ} \quad X_{01} = \sqrt{(Z_{01})^2 - (R_{01})^2} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

เมื่อ Z_{01} = อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

R_{01} = ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

X_{01} = รีแอกเตอ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

การทดสอบสภาวะเปิดวงจร จะได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก ($P_c = P_0$)

การทดสอบในสภาวะลัดวงจร จะได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมด ($P_{cc} = P_{sc}$)

3.1.4 การคำนวณหาค่าต่างๆในการทดสอบหม้อแปลง

ตัวอย่างที่ 3.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 10 kVA ขนาดแรงดัน 450/120 V จากการทดสอบดังนี้
 ทดสอบในสภาวะเปิดวงจร (เปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิ) $V_0 = 120 \text{ V}$, $I_0 = 4.2 \text{ A}$, $P_0 = 140 \text{ W}$
 ทดสอบในสภาวะเปิดวงจร (เปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ) $V_{ac} = 25 \text{ V}$, $I_{ac} = 22.2 \text{ A}$, $P_{ac} = 260 \text{ W}$

จงคำนวณหา

- ก. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก
- ข. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก
- ค. ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ (แรงต่ำ)
- ง. รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ(แรงต่ำ)
- จ. อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)
- ฉ. ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)
- ช. รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

วิธีทำ เมื่อทดสอบในสภาวะเปิดวงหามุม θ_0 ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \theta_0 &= \cos^{-1} \left[\frac{P_0}{V_0 I_0} \right] \\ &= \cos^{-1} \left[\frac{140}{120 \times 4.2} \right] \\ &= 73.9^\circ \end{aligned}$$

ก. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned}I_c &= I_0 \cos \theta_0 \\&= 4.2 \times \cos 73.9^\circ \\&= 4.2 \times 0.277 \\I_c &= 1.16\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก = 1.16 A

ข. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

$$\begin{aligned}I_m &= I_0 \sin \theta_0 \\&= 4.2 \times \sin 73.9^\circ \\&= 4.2 \times 0.96 \\I_m &= 4.032\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก = 4.032 A

ค. ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฏุมภูมิ (แรงต่ำ)

$$\begin{aligned}R_c &= \frac{V_0}{I_c} \\&= \frac{120}{2.848} \\R_c &= 42.13\end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฏุมภูมิ = 42.13 Ω

ง. รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กด้านปฏุมภูมิ (แรงต่ำ)

$$\begin{aligned}X_m &= \frac{V_0}{I_m} \\&= \frac{120}{7.472} \\X_m &= 16.06\end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กด้านปฏุมภูมิ = 16.06 Ω

จ. อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}Z_{02} &= \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \\&= \frac{150}{10} \\Z_{02} &= 15\end{aligned}$$

อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ = 15 Ω

ฉ. ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}R_{02} &= \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2} \\&= \frac{600}{(10)^2} \\R_{02} &= 6\end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ = 6 Ω

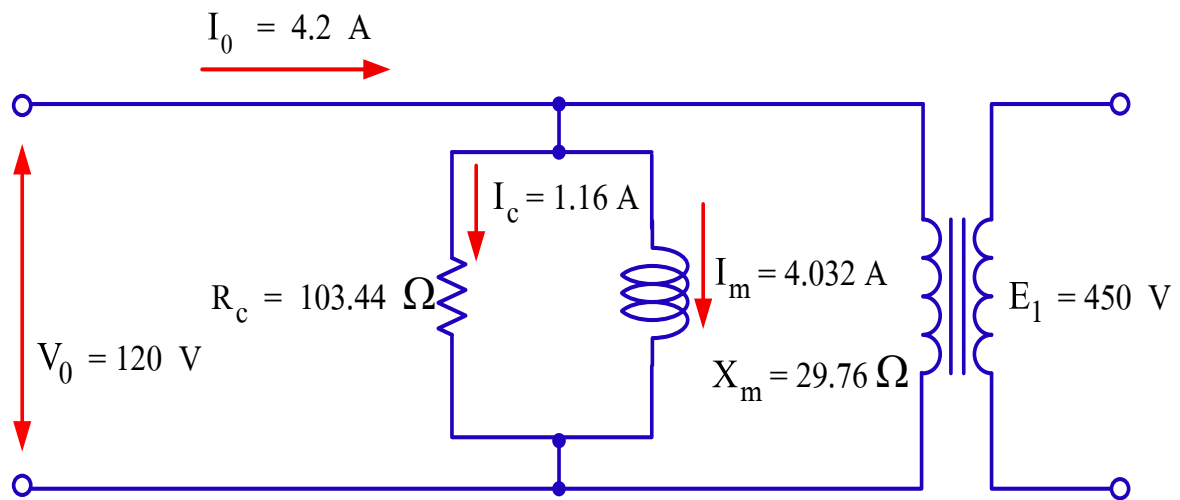
ช. รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}X_{02} &= \sqrt{(Z_{02})^2 - (R_{02})^2} \\&= \sqrt{(15)^2 - (6)^2} \\&= \sqrt{189} \\X_{02} &= 13.74\end{aligned}$$

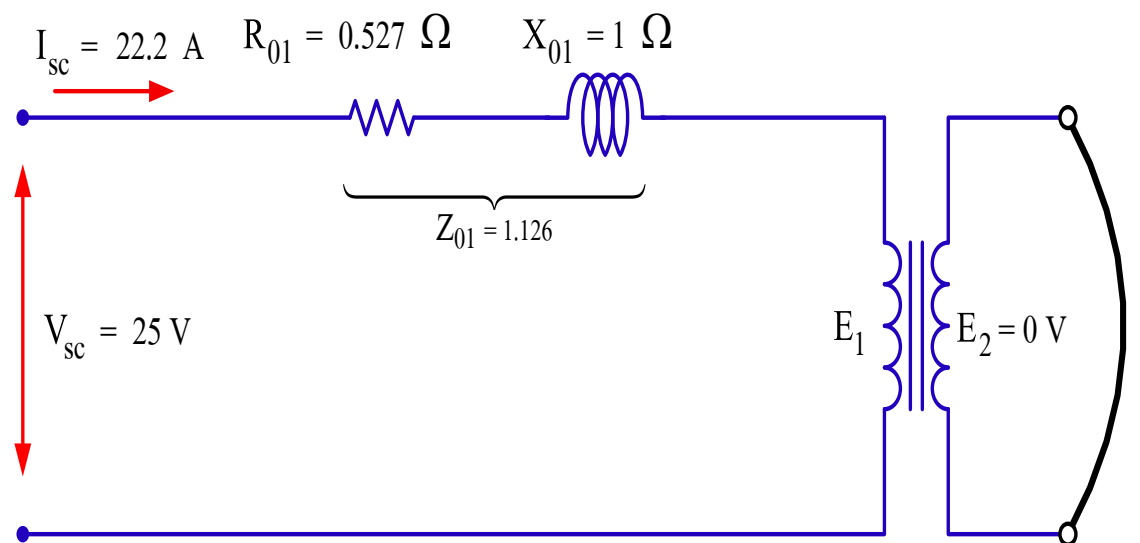
รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ = 13.74 Ω

ซ. เขียนและกำหนดค่าต่างๆ ให้กับวงจรสมมูลจากการทดสอบ ได้ดังนี้

วงจรสมมูลจากการทดสอบในสภาวะเปิดวงจร



วงจรสมมูลจากการทดสอบในสภาวะลัดวงจร



$$\begin{aligned}\theta_0 &= \cos^{-1} \left[\frac{P_0}{V_0 I_0} \right] = \cos^{-1} \left[\frac{342}{120 \times 4.2} \right] \\ &= \cos^{-1} 0.356 \\ \theta_0 &= 69.14^\circ\end{aligned}$$

ก. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned}I_c &= I_0 \cos \theta_0 \\&= 8 \times \cos 69.14^\circ \\&= 8 \times 0.356 \\I_c &= 2.848\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก = 2.848 A

ข. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

$$\begin{aligned}I_m &= I_0 \sin \theta_0 \\&= 8 \times \sin 69.14^\circ \\&= 8 \times 0.934 \\I_m &= 7.472\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก = 7.472 A

ค. ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฐุมภูมิ (แรงต่ำ)

$$\begin{aligned}R_c &= \frac{V_0}{I_c} \\&= \frac{120}{2.848} \\R_c &= 42.13\end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฐุมภูมิ = 42.13 Ω

ตัวอย่างที่ 3-2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 24 kVA ขนาดแรงดัน 120/2400 V ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดันไฟฟ้า จากการทดสอบให้ผลดังตาราง 3-1 ดังนี้

ตารางที่ 3-1 ค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
ทดสอบสถานะเปิดวงจร (เปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ)	120	8	342
ทดสอบสถานะลัดวงจร (ลัดวงจรทางด้านปฐมภูมิ)	150	10	600

หมายเหตุ ให้ทางด้านรับไฟเป็นทางด้านปฐมภูมิ (120 V) และทางด้านจ่ายไฟเป็นด้านทุติยภูมิ (2400 V)

จงคำนวณหา

- ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก
- ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก
- ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฐมภูมิ (แรงต่ำ)
- รีแอ็กแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฐมภูมิ (แรงต่ำ)
- อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)
- ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)
- รีแอ็กแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)
- เขียนและกำหนดค่าต่างๆ ให้กับวงจรสมมูลจากการทดสอบ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่างๆ ให้ดังนี้

ทดสอบในสถานะเปิดวงจร $V_0 = 120 \text{ V}$, $I_0 = 8 \text{ A}$, $P_0 = 342 \text{ W}$

ทดสอบในสถานะลัดวงจร $V_{sc} = 150 \text{ V}$, $I_{sc} = 10 \text{ A}$, $P_{sc} = 600 \text{ W}$

เมื่อทดสอบในสถานะเปิดวงจร หามุม θ_0 ได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 \theta_0 &= \cos^{-1} \left[\frac{P_0}{V_0 I_0} \right] = \cos^{-1} \left[\frac{342}{120 \times 8} \right] \\
 &= \cos^{-1} 0.356 \\
 &= 69.14^\circ
 \end{aligned}$$

ก. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned}I_c &= I_0 \cos \theta_0 \\&= 8 \times \cos 69.14^\circ \\&= 8 \times 0.356 \\I_c &= 2.848\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก = 2.848 A

ข. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

$$\begin{aligned}I_m &= I_0 \sin \theta_0 \\&= 8 \times \sin 69.14^\circ \\&= 8 \times 0.934 \\I_m &= 7.472\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก = 7.472 A

ค. ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฏุมภูมิ (แรงต่ำ)

$$\begin{aligned}R_c &= \frac{V_0}{I_c} \\&= \frac{120}{2.848} \\R_c &= 42.13\end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านปฏุมภูมิ = 42.13 Ω

ง. รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กด้านปฏุมภูมิ (แรงต่ำ)

$$\begin{aligned}X_m &= \frac{V_0}{I_m} \\&= \frac{120}{7.472} \\X_m &= 16.06\end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กด้านปฏุมภูมิ = 16.06 Ω

จ. อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}Z_{02} &= \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \\&= \frac{150}{10}\end{aligned}$$

$$Z_{02} = 15$$

อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ = 15 Ω

ฉ. ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}R_{02} &= \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2} \\&= \frac{600}{(10)^2}\end{aligned}$$

$$R_{02} = 6$$

ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ = 6 Ω

ช. รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ (แรงสูง)

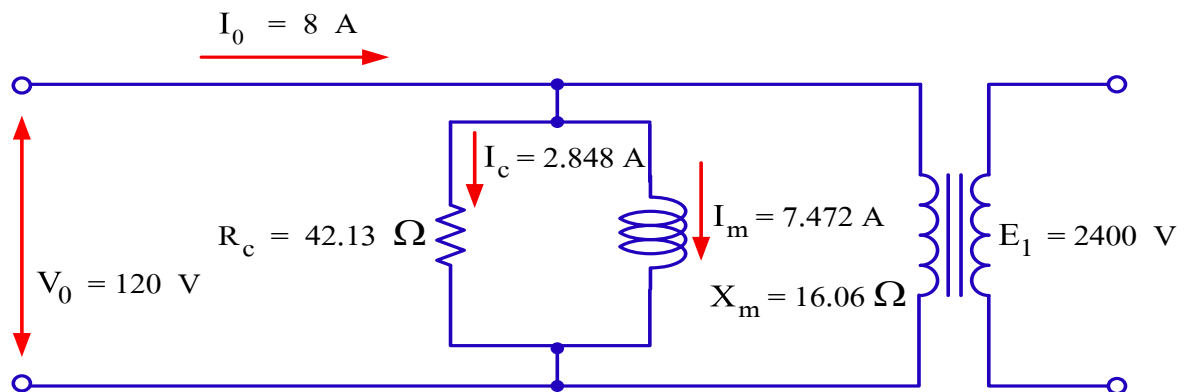
$$\begin{aligned}X_{02} &= \sqrt{(Z_{02})^2 - (R_{02})^2} \\&= \sqrt{(15)^2 - (6)^2} \\&= \sqrt{189}\end{aligned}$$

$$X_{02} = 13.74$$

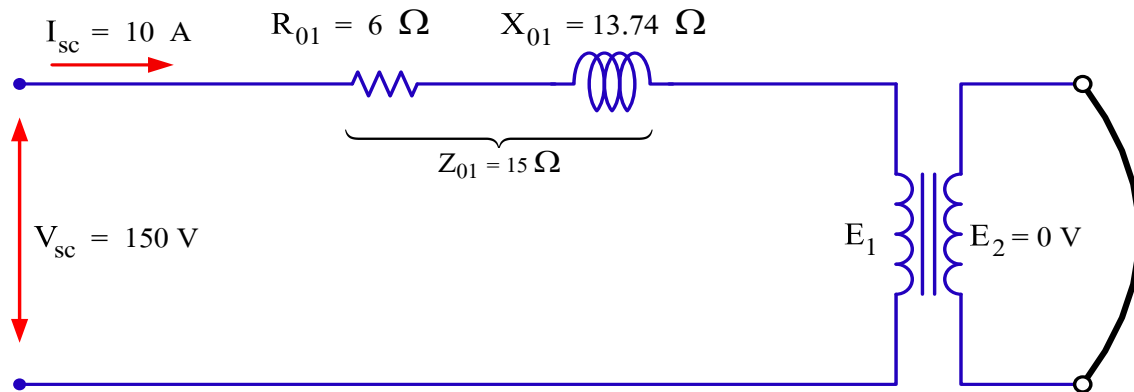
รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาด้านทุติยภูมิ = 13.74 Ω

ซ. เขียนและกำหนดค่าต่างๆ ให้กับวงจรสมมูลจากการทดสอบ ได้ดังนี้

วงจรสมมูลจากการทดสอบในสภาวะเปิดวงจร



วงจรสมมูลจากการทดสอบในสภาวะลัดวงจร



3.2 โวลต์เตจเรกกูเลชั่น (Voltage regulation)

เนื่องจากแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดกับไม่มีโหลดนั้น จะแตกต่างกันมากบ้างน้อยบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายสิ่งด้วยกัน เช่น ขึ้นอยู่กับแกนเหล็ก การอัดแกนเหล็กการพันขดลวด เป็นต้น นอกจากนี้การออกแบบที่ดีก็ช่วยได้มากเหมือนกัน ถ้าแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดกับเมื่อโหลดต่างกันมาก หม้อแปลงไฟฟ้าตัวนั้นก็ไม่ได้ แต่ถ้าแรงดันเมื่อไม่มีโหลดกับเมื่อมีโหลดแตกต่างกันน้อย หรือ ออกแบบให้ไม่แตกต่างกันเลย แสดงว่าการควบคุมแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าดี

สมมุติว่า หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 KVA 4,400/220 V. แสดงว่า เอาพุทของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ฟูลโหลด มีค่า 50 KVA แรงดัน 4,400 โวลต์ เป็นแรงดันฟูลโหลดของขดลวดปฐมภูมิและแรงดัน 220 โวลต์ ก็เป็นแรงดันฟูลโหลดของขดลวดทุติยภูมิ

ถ้า OV_1 = แรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดปฐมภูมิตอนมีโหลด แรงดันนี้จะมีค่าเท่ากับ V_1 เมื่อไม่มีโหลด พอมีโหลดแรงดัน OV_1 จะลดลงเป็น V_1 จึงเพิ่มแรงดันอินพุตขึ้นอีกเพื่อให้ V_1 มีค่าคงเดิม จนถึงค่าๆ หนึ่ง คือ OV_1 ในลักษณะคล้ายๆ กับแรงดัน 220 โวลต์ ก็เป็นแรงดันฟูลโหลดของลวดทุติยภูมิแต่เมื่อไม่มีโหลด แรงดันปลายสายของลวดทุติยภูมิ คือ

$$\begin{aligned} OV_2 &= E_2 = KE_1 \dots\dots\dots 3.10 \\ &= KV_1 \end{aligned}$$

ทั้งนี้ก็เพราะไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในขดลวด , $I_2 = 0$

เมื่อ E_2 = แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ขดลวดทุติยภูมิเมื่อไม่มีโหลด
 E_1 = แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิเมื่อไม่มีโหลด
 V_1 = แรงดันฟูลโหลดขดลวดปฐมภูมิ
 = แรงดันที่ป้อนให้ขดลวดปฐมภูมิเมื่อไม่มีโหลด

เมื่อมีโหลด แรงดันปลายสาย OV_2 จะลดลงเหลือ V_2 แรงดันตกคร่อมขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าหาได้จากสมการข้างล่าง ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียง (Approximate)

ถ้าพิจารณาที่ขดลวดทุติยภูมิ จะได้ค่า V_{d2} ดังนี้

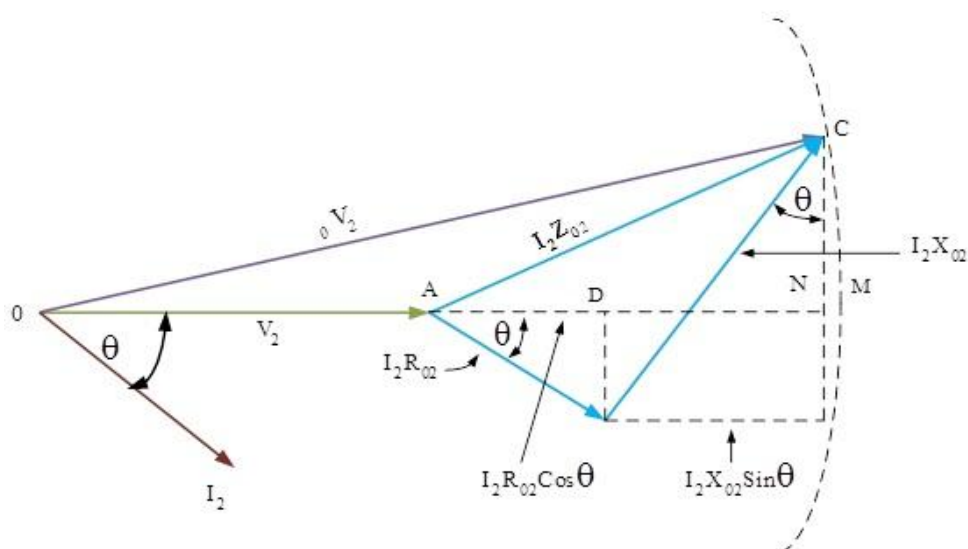
$$V_{d2} = I_2 R_{02} \cos \theta \pm I_2 X_{02} \sin \theta \dots\dots\dots 3.11$$

และถ้าพิจารณาที่ขดลวดปฐมภูมิ จะได้ค่า V_{d1} ในลักษณะเดียวกัน

$$V_{d1} = I_1 R_{01} \cos \theta \pm I_1 X_{01} \sin \theta \dots\dots\dots 3.12$$

เครื่องหมาย + หมายถึง เพาเวอร์แฟคเตอร์ ล้าหลัง (lag)

เครื่องหมาย - หมายถึง เพาเวอร์แฟคเตอร์ นำหน้า (lead)



รูปที่ 3-5 เวกเตอร์ไดอะแกรมแสดงว่า V_{d2}

จากเวกเตอร์ไดอะแกรมรูป 3-5 แรงดันไฟฟ้า V_{d2} จะมีค่า = $AD + DN$ ดังนั้นแรงดัน OV_2 ค่าใกล้เคียง (approximate) จะมีค่า = $OA + AD + DN = ON$ ส่วนแรงดัน OV_2 ค่าถูกต้อง (exact) ที่ต้องใช้การคำนวณด้วยเวกเตอร์ = OC

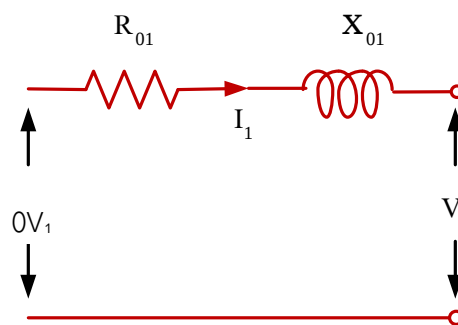
$$\begin{aligned}\therefore \quad OA &= V_2 \\ AD &= I_2 R_{02} \cos \theta \\ DN &= I_2 X_{02} \sin \theta\end{aligned}$$

ซึ่งรูปที่ 3-5 นี้พิจารณาค่าต่างๆ ที่ขดลวดทุติยภูมิ แต่ถ้าจะพิจารณาค่าที่ขดลวดปฐมภูมิก็จะได้สมการในลักษณะเดียวกันดังในสมการ 5.9

เนื่องจากขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองขดจะพันติดกันทางแม่เหล็กอย่างเหนียวแน่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโวลตทางทุติยภูมิ ก็จะส่งผลกลับไปทางปฐมภูมิ และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงทางปฐมภูมิก็จะส่งผลต่างๆ ไปทางทุติยภูมิตลอดเวลา ดังนั้น การหาเปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเรกกูเลชันโดยตรงจากขดลวดชุดหนึ่งชุดใดค่าที่ได้จะไม่ถูกต้องนัก จึงต้องหาค่าเปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเรกกูเลชัน โดยการพิจารณาจากขดลวดด้านหนึ่งเข้าไปสู่ขดลวดอีกด้านหนึ่ง เหมือนกับการหาค่าความต้านทานสมมูลย์ ดังได้กล่าวมาแล้ว

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเรกกูเลชันของหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อพิจารณาเทียบกับ (referred to) ขดลวดปฐมภูมิจะได้ว่า

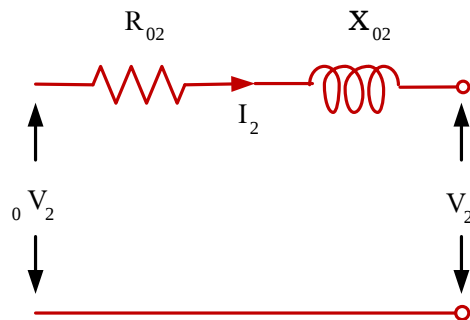
$$\text{เปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน} = \frac{OV_1 - V_1}{V_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3.13$$



$$\begin{aligned}\text{เมื่อ} \quad V_1 &= \text{แรงดันฟูลโหลดของขดลวดปฐมภูมิ (ค่าที่ name plate)} \\ 0V_1 &= \text{แรงดันอินพุทของขดลวดปฐมภูมิตอนฟูลโหลด} \\ 0V_1 &= V_1 + V_{d1} \\ V_{d1} &= I_1 R_{01} \cos \theta \pm I_1 X_{01} \sin \theta\end{aligned}$$

ถ้าจะหาเปอร์เซ็นต์เรกกูเลชันของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาเทียบกับขดลวดทุติยภูมิจะได้ว่า

$$\text{เปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน} = \frac{0V_2 - V_2}{V_2} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3.14$$



$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } V_2 &= \text{แรงดันฟูลโหลดของขดลวดทุติยภูมิ (ค่าที่ name plate)} \\ 0V_2 &= \text{แรงดันอินพุทของขดลวดทุติยภูมิตอนฟูลโหลด} \\ 0V_2 &= V_2 + V_{d2} \\ V_{d2} &= I_2 R_{02} \cos \theta \pm I_2 X_{02} \sin \theta \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 3.3 หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส มีอัตราส่วน 5 : 1 ขดลวดปฐมภูมิมีความต้านทาน = 0.4 โอห์ม และรีแอคแตนซ์ 1.2 โอห์ม ขดลวดทุติยภูมิมีความต้านทาน 0.01 โอห์ม และรีแอคแตนซ์ 0.04 โอห์ม จงหาเปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายกระแสให้โหลด 125 แอมป์ที่แรงดัน 600 โวลต์ และเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดมีค่า 0.8 (ล้าหลัง)

วิธีทำ อัตราส่วนของขดลวดปฐมภูมิต่อทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} &= 5 : 1 \\ \therefore K &= 1 / 5 \\ \because R_1 &= 0.4 \quad \text{โอห์ม} \\ \text{และ } R_2 &= 0.01 \quad \text{โอห์ม} \\ \therefore R_{02} &= R_2 + R_1 / K^2 \\ &= 0.01 + 0.4 \times \left(\frac{1}{5} \right)^2 \quad \text{โอห์ม} \\ &= 0.026 \quad \text{โอห์ม} \\ \because X_1 &= 1.2 \quad \text{โอห์ม} \\ \text{และ } X_2 &= 0.04 \quad \text{โอห์ม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore X_{02} &= X_2 + X_1 / K^2 \\
 &= 0.04 + 1.2 \times \left(\frac{1}{5}\right)^2 \text{ โอห์ม} \\
 &= 0.088 \text{ โอห์ม}
 \end{aligned}$$

จากสมการ 5.8 เมื่อเพาเวอร์เฟคเตอร์ล้าหลังแรงดันตกคร่อมขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาที่ขดลวดทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}
 V_{d2} &= I_2 R_{02} \cos \theta \pm I_2 X_{02} \sin \theta \\
 I_2 R_{02} &= 125 \times 0.026 && \text{โวลต์} \\
 &= 3.25 && \text{โวลต์} \\
 I_2 X_{02} &= 125 \times 0.088 && \text{โวลต์} \\
 &= 11 && \text{โวลต์} \\
 \therefore \cos \theta &= 0.8 \\
 \theta &= 36^\circ 86' \\
 \therefore \sin \theta &= 36^\circ 86' \\
 \theta &= 0.6 \\
 \therefore V_{d2} &= 3.25 \times 0.8 + 11 \times 0.6 && \text{โวลต์} \\
 &= 2.6 + 6.6 && \text{โวลต์} \\
 &= 9.2 && \text{โวลต์} \\
 \text{เปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน} &= \frac{0V_2 - V_2}{V_2} \times 100 \\
 0V_2 - V_2 &= 9.2 && \text{โวลต์} \\
 V_2 &= 600 && \text{โวลต์} \\
 \text{เปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน} &= \frac{9.2}{600} \times 100 \\
 &= 1.53 && \text{ตอบ}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 3.4 จากตัวอย่างที่ 3.3 ถ้าเพาเวอร์แฟคเตอร์ มีค่า 0.8 นำหน้า จงหาเปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเรกกูเลชัน

วิธีทำ

$$V_2 = 600 \text{ โวลต์}$$

$$I_2 = 125 \text{ แอมป์}$$

แรงดันลดในขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า

$$\begin{aligned} V_{d2} &= I_2 R_{02} \cos \theta \pm I_2 X_{02} \sin \theta \\ &= 3.25 \times 0.8 + 11 \times 0.6 \quad \text{โวลต์} \\ &= -4 \quad \text{โวลต์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน} &= \frac{0V_2 - V_2}{V_2} \times 100 \\ &= \frac{-4}{600} \times 100 \\ &= -0.67 \end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 3.5 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 20 KVA 2,200/200 V 60 Hz ถูกนำไปทดสอบเพื่อหาโวลต์เตจเรกกูเลชัน เมื่อทดสอบแบบวงจรเปิด (open-circuit test) (วัดค่าจากขดลวดแรงดันต่ำ) วัดต์มิเตอร์แอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ อ่านค่าได้ 148 วัตต์ 4.2 แอมป์ และ 220 โวลต์ ตามลำดับ และเมื่อทดสอบแบบวงจรลัด (short-circuit test) (วัดค่าจากขดลวดแรงดันสูง) วัดต์มิเตอร์แอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ อ่านค่าได้ 360 วัตต์ 10.5 แอมป์ และ 86 โวลต์ ตามลำดับ จงหา

1. คอรัลอส ของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. คอปเปอร์ลอส ของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ความต้านทานสมมูลย์เมื่อพิจารณาเทียบกับขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ
4. รีแอกเตอร์สมมูลย์เมื่อพิจารณาเทียบกับขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ
5. เรกกูเลชัน เมื่อพิจารณาเทียบกับขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ เมื่อเพาเวอร์แฟคเตอร์ = 0.8

วิธีทำ

1. คอรัลอส ของหม้อแปลงไฟฟ้า = 148 โวลต์
2. คอปเปอร์ลอส ของหม้อแปลงไฟฟ้า = 360 วัตต์

ค่าสมมูลย์ต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะหาได้จาก คอปเปอร์ลอส เท่านั้น

∴ 3. ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาเทียบกับขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ (ที่ขดลวดแรงดัน 2,200 โวลต์)

$$\begin{aligned}\therefore R_{01} &= \frac{W_{SC}}{I_{SC}^2} \\ &= \frac{360}{(10.5)^2} && \text{โอห์ม} \\ &= 3.26 && \text{โอห์ม}\end{aligned}$$

ถ่ายทอด R₀₁ ไปสู่ขดลวดทุติยภูมิ (ขดลวดแรงดัน 220 โวลต์)

$$\text{จะได้ } R_{02} = R_{01} K^2$$

$$\text{เมื่อ } K = \frac{V_2}{V_1} = \frac{220}{2,200} = \frac{1}{10}$$

$$\begin{aligned}\therefore R_{02} &= 3.26 \times \left(\frac{1}{10}\right)^2 && \text{โอห์ม} \\ &= 0.0326 && \text{โอห์ม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore Z_{01} &= \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \\ &= \frac{86}{10.5} && \text{โอห์ม} \\ &= 8.19 && \text{โอห์ม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore 4. X_{01} &= \sqrt{(Z_{01})^2 - (R_{01})^2} \\ &= \sqrt{(8.19)^2 - (3.26)^2} && \text{โอห์ม} \\ &= 7.51 && \text{โอห์ม}\end{aligned}$$

ถ่ายทอด X₀₁ ไปสู่ขดลวดทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}X_{02} &= X_{01} K^2 \\ &= 7.51 \times \left(\frac{1}{10}\right)^2 && \text{โอห์ม} \\ &= 0.0751 && \text{โอห์ม}\end{aligned}$$

หาเรกูล์เลขน้เมื่อพิจารณาที่ขดลวดปฐมภูมิ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เรกูล์เลขน้} = \frac{OV_2 - V_2}{V_2} \times 100$$

แรงดันตกคร่อมขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อพิจารณาที่ขดลวดปฐมภูมิ

$$V_{d1} = I_1 R_{01} \cos \theta \pm I_1 X_{01} \sin \theta$$

$$I_1 = \frac{20 \times 1,000}{2,200} \quad \text{แอมป์}$$

$$= 9.1 \quad \text{แอมป์}$$

$$\therefore V_{d1} = 9.1 \times 3.26 \times 0.8 \times 9.1 \times 7.51 \times 0.6 \quad \text{โวลต์}$$

$$= 23.73 + 41.00 \quad \text{โวลต์}$$

$$= 64.73 \quad \text{โวลต์}$$

$$\therefore OV_1 = \text{แรงดันขดลวดปฐมภูมิ เมื่อไม่มีโหลด}$$

$$= 2,200 + 64.73 \quad \text{โวลต์}$$

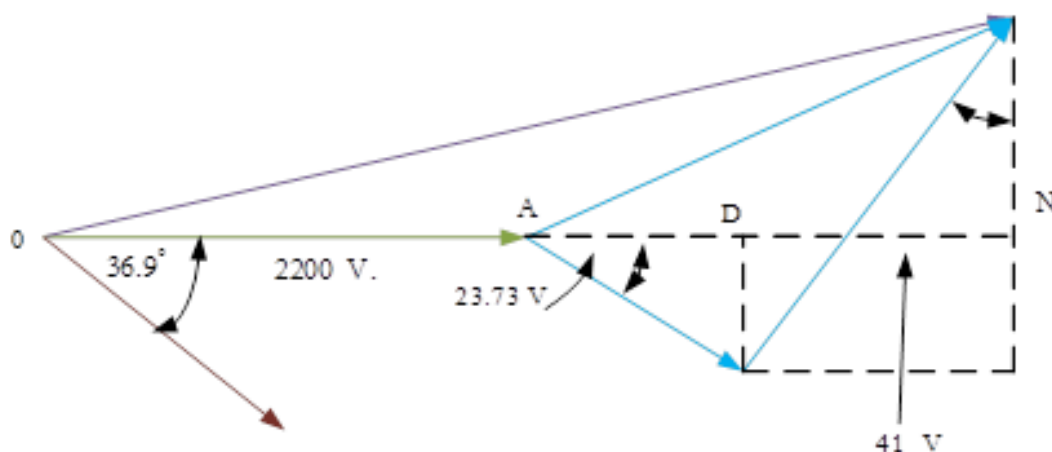
$$= 2,264.73 \quad \text{โวลต์}$$

$$OV_1 = \text{แรงดันเมื่อมีโหลด}$$

$$= 2,200 \quad \text{โวลต์}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์เรกูล์เลขน้} = \frac{2,264.73 - 2,200}{2,200} \times 100$$

$$= 2.94 \quad \text{ตอบ}$$



รูปที่ 3-6 แสดงค่า $V_{d1} = AN$

เมื่อพิจารณาที่ขดลวดทุติยภูมิ (เพื่อเปรียบเทียบกัน)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน} = \frac{0V_2 - V_2}{V_2} \times 100$$

แรงดันตกคร่อมขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อพิจารณาที่ขดลวดทุติยภูมิ

$$V_{d2} = I_2 R_{02} \cos \theta \pm I_2 X_{02} \sin \theta$$

$$I_2 = \frac{20 \times 1,000}{220} \quad \text{แอมป์}$$

$$= 91 \quad \text{แอมป์}$$

$$\therefore V_{d1} = 91 \times 0.0326 \times 0.8 \pm 91 \times 0.0751 \times 0.6 \quad \text{โวลต์}$$

$$= 2.37 + 4.1 \quad \text{โวลต์}$$

$$= 6.47 \quad \text{โวลต์}$$

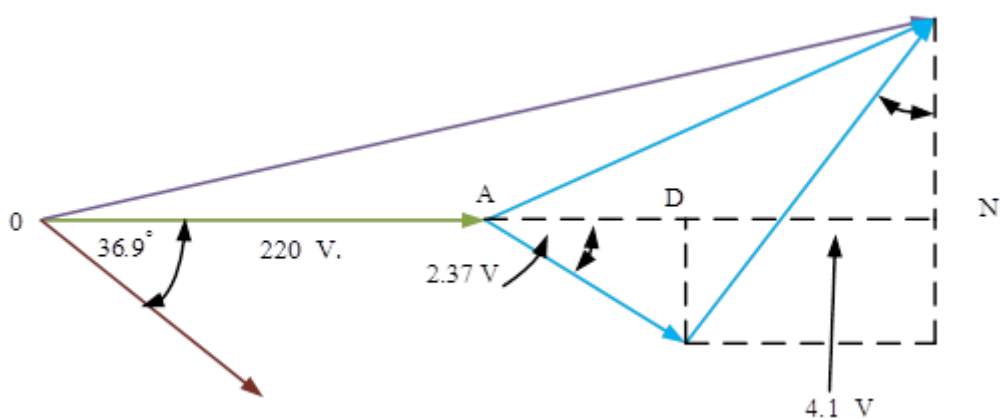
$\therefore 0V_2 =$ แรงดันขดลวดทุติยภูมิ เมื่อไม่มีโหลด

$$= 220 + 6.47 \quad \text{โวลต์}$$

$$= 226.47 \quad \text{โวลต์}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์เรกกูเลชัน} = \frac{226.47 - 220}{220} \times 100$$

$$= 2.94 \quad \text{ตอบ}$$



รูปที่ 3-7 แสดงค่า $V_{d2} = AN$

4 การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

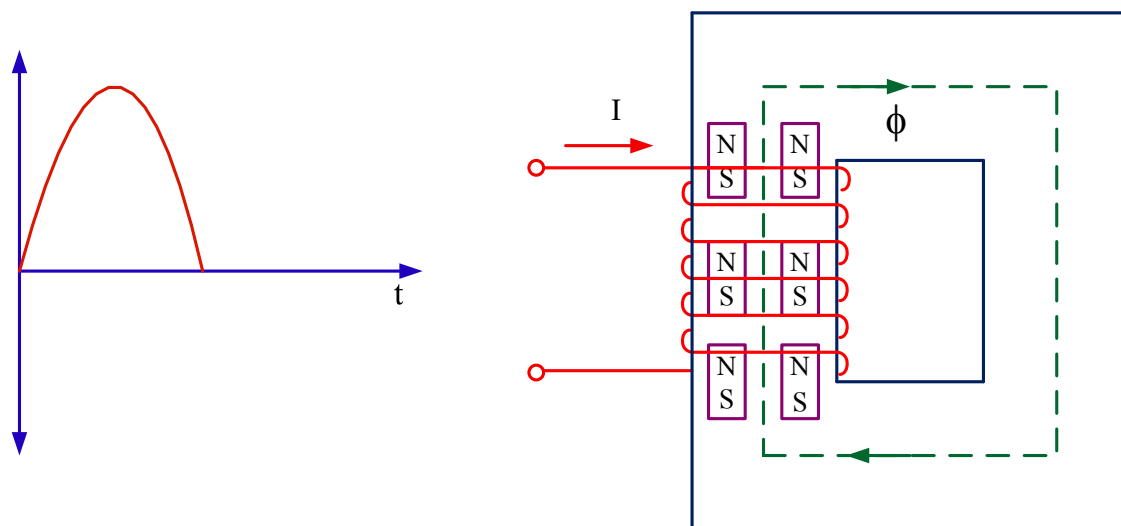
หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่มีค่าการสูญเสียน้อยกว่าเครื่องกลไฟฟ้าประเภทมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะว่าหม้อแปลงไฟฟ้านั้นไม่มีการสูญเสียทางกล ดังนั้นจึงทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีการสูญเสียเพียง 2 ส่วน ได้แก่

1. การสูญเสียในแกนเหล็ก
2. การสูญเสียในขดลวดทองแดง

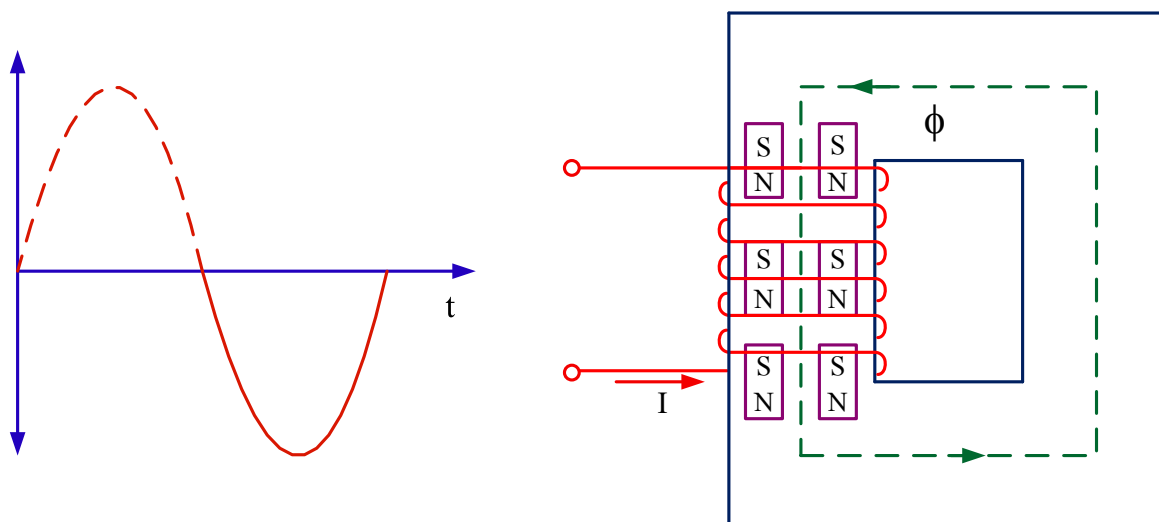
4.1 การสูญเสียในแกนเหล็ก

การสูญเสียนี้อาจเกิดขึ้นในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งออกเป็น

4.1.1 การสูญเสียจากฮิสเตอรีซิส เกิดขึ้นเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางตลอดเวลาตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้ามา ดังนั้นเมื่อพิจารณา จากรูปที่ 4-1 (ก) เมื่อครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาจ่ายให้กับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามไฟฟ้าสลับและมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะทำให้โมเมนต์ของแกนเหล็กเรียงตัวเป็นแบบ N-S และ N-S รอบแกนเหล็กตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเช่นเดียวกัน



(ก) เมื่อครึ่งไซเคิลบวกมาจ่ายให้กับขดลวด

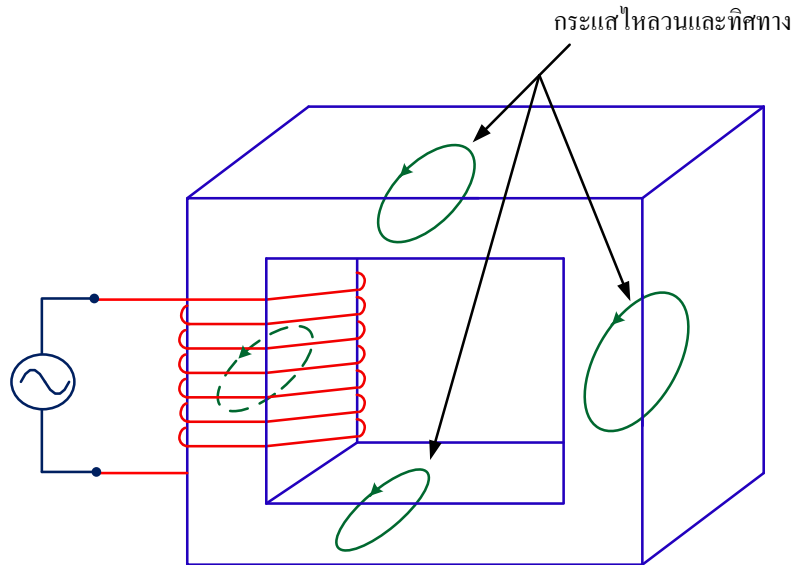


(ข) เมื่อเครื่องใช้เคลื่อนเข้ามาจ่ายให้กับขดลวด

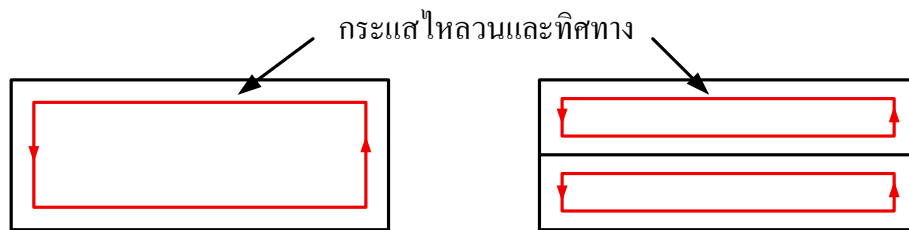
รูปที่ 4-1 การเกิดอีเอสเทอร์รี่ซีสในแกนเหล็ก

จากรูปที่ 4-1 (ข) เมื่อเครื่องใช้เคลื่อนเข้ามาจ่ายให้กับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปตามไฟฟ้าสลับและมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะทำให้โมเลกุลของแกนเหล็กเรียงตัวเป็นแบบ S-N และ S-N รอบแกนเหล็ก ตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กและเกิดการกลับทิศทางโมเลกุลในแกนเหล็ก ในการกลับตัวของโมเลกุลต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งซึ่งพลังงานที่ใช้ไปคือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียซึ่งออกมาอยู่ในรูปของความร้อน

4.1.2 การสูญเสียจากกระแสไหลวน เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลวนภายในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 4-2 (ก) ถ้าให้แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแกนเหล็กตัน เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้ามาจะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงและตัดกับแกนเหล็กตลอดเวลา จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น เนื่องจากแกนเหล็กตันจะมีค่าความต้านทานและครบวงจรในตัวเอง จึงทำให้เกิดกระแสไหลวนและมีทิศทางตามรูปที่ 4-2 (ข) ถ้าต้องการลดกระแสไหลวนที่แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า ทำได้โดยลดพื้นที่การไหลของกระแสไหลวนโดยทำเป็นเหล็กแผ่นบางแล้วนำมาอัดซ้อนกัน



(ก) การเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็กตัน



(ข) ทิศทางของกระแสไหลวนเมื่อมองจากด้านบน

(ค) แกนเหล็กเมื่อแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

รูปที่ 4-2 การเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็กและทิศทาง

จากรูปที่ 4-2 (ค) เมื่อแบ่งแกนเหล็กตันออกเป็น 2 ส่วน โดยแกนเหล็กทั้งสองไม่ถึงกันและทำให้เกิดกระแสไหลวนในแต่ละส่วนลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากกระแสไหลวนลดลงด้วย การสูญเสียที่แกนเหล็กจะขึ้นอยู่กับความถี่และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก เนื่องจากความถี่ของแหล่งจ่ายความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กคงที่และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามามีค่าคงที่ ดังนั้นการสูญเสียนี้จะมีค่าคงที่โดยไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไฟฟ้าที่ไหล

4.2 การปรับลดแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

การที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) สูงเกินพิกัดนอกจากอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ และเครื่องจักรไฟฟ้าอีกทั้งยังทำให้เพิ่มการสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง และมอเตอร์อีกด้วย ดังนั้นควรมีการปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เหมาะสม ซึ่งการปรับลดแรงดันทางด้านทุติยภูมินั้น เป็นมาตรการที่สามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานและความเสียหายกับหม้อแปลงไฟฟ้าได้ในทางหนึ่ง การปรับลดแรงดันด้านทุติยภูมิลง 10 Volt สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงลงได้ 5% โดยทำการปรับแทปหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งแทปหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบ

ของขดลวดเพื่อให้หม้อแปลงจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ มีทั้งออกแบบเป็น Automatic และ Manual โดยส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบ Off load tap changer (ต้องทำการปลดแรงดันสูงและโหลดออกก่อนจึงสามารถปรับเปลี่ยนได้) และตัวแทปหม้อแปลงนั้นจะติดตั้งอยู่ด้านแรงดันสูง เนื่องจากมีจำนวนขดลวดมากและมีค่ากระแสน้อย ในการปรับจำเป็นต้องดับไฟฟ้าเสมอ โดยปกติหม้อแปลง 1 ลูก จะมีแทปอยู่ 5 แทป ซึ่งแต่ละแทปจะทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 2.5 % ดังนั้นผู้ผลิตจะตั้งแทปหม้อแปลงอยู่ที่ตำแหน่งแทป 3

ยกตัวอย่าง โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก จากการตรวจสอบของทีมงานอนุรักษ์พลังงานพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 4 ชุด ที่มีแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิสูง ระบบไฟฟ้าที่เข้าตู้ MDB เป็นแบบ 3 เฟส 4 สาย แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต การทำงานของหม้อแปลง 365 วัน/ปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจพบว่ามีหม้อแปลงไฟฟ้าหลายชุดที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าในระดับที่สูงเกินพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้าทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์มากขึ้นและยังทำให้อายุการทำงานของอุปกรณ์สั้นลงอีกด้วย



รูปแสดงหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปแสดงแรงดันไฟฟ้าที่ MDB-4-4
ก่อนปรับลดแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 4-3 แสดงการสำรวจหม้อแปลงไฟฟ้า

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการปรับลดแรงดันไฟฟ้ามีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ลดลง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงที่มีแรงดันไฟฟ้าด้วยทุติยภูมิสูงก่อนและหลังปรับลด
2. ทำการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงแต่ละชุดทุกวันก่อนและหลังปรับลด
3. ตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางระหว่างเฟสควรอยู่ประมาณ 380 โวลต์หรือระหว่างเฟสกับนิวทรัลควรอยู่ที่ 220 โวลต์ (ควรตรวจสอบอ้างอิงกับพิกัดแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์)
4. การคำนวณผลประหยัดก่อนและหลังปรับลดแรงดันไฟฟ้านั้นการทำงานของเครื่องจักร อุปกรณ์ ชั่วโมงการทำงานและการผลิตควรอยู่ในสภาวะเดียวกัน

สภาพหลังปรับปรุง สามารถปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงได้ 4 ชุด โดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้าปลายทางยังอยู่ที่ระดับที่เหมาะสมกับพิกัดของอุปกรณ์ปลายทาง และเครื่องจักรยังสามารถทำงานได้ปกติ

บริเวณตรวจวัด	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ก่อนปรับ	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย หลังปรับ	จำนวน Tap ที่ปรับลด
MDB-1-2	407	396.5	1
MDB-1-5	410	397.5	1
MDB-4-4	407	399	1
MDB-W/H-1	407	396	1



รูปที่ 4-4 แสดงการปรับลดแรงดันไฟฟ้า โดยการปรับแทปหม้อแปลงไฟฟ้าลง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 4-1 ก่อนปรับลดแรงดันไฟฟ้า(ก่อนการปรับแทปหม้อแปลงไฟฟ้า)

วันที่	MDB - 1 - 2	MDB - 1 - 5	MDB - 4 - 4	MDB - W/H - 1
	kWH	kWH	kWH	kWH
1	5,120.00	2,450.00	648.00	600.00
2	5,680.00	2,754.00	744.00	792.00
3	5,600.00	2,457.00	768.00	744.00
4	5,440.00	2,289.00	288.00	648.00
5	5,360.00	2,230.00	792.00	720.00
6	5,600.00	2,201.00	792.00	744.00
7	5,200.00	2,295.00	744.00	720.00
8	5,120.00	2,017.00	696.00	744.00
9	5,280.00	2,014.00	696.00	744.00
10	5,200.00	1,971.00	792.00	744.00
AVERAGE	5,420.00	2,300.78	741.33	733.33

ตารางที่ 4-2 หลังปรับลดแรงดันไฟฟ้า(หลังการปรับแทปหม้อแปลงไฟฟ้า)

วันที่	MDB - 1 - 2	MDB - 1 - 5	MDB - 4 - 4	MDB - W/H - 1
	kWH	kWH	kWH	kWH
1	5,520.00	2,211.00	720.00	720.00
2	5,840.00	2,715.00	744.00	744.00
3	5,840.00	2,637.00	696.00	696.00
4	5,840.00	2,423.00	696.00	720.00
5	5,280.00	1,874.00	696.00	720.00
6	5,680.00	2,175.00	696.00	720.00
7	5,520.00	2,110.00	672.00	768.00
8	5,200.00	2,230.00	744.00	696.00
9	5,280.00	2,244.00	768.00	696.00
10	5,200.00	2,428.00	720.00	792.00
AVERAGE	5,333.33	2,260.14	726.86	720.00
คิดผลประหยัดเป็น %	1.6%	1.8%	2.0%	1.8%

ยกตัวอย่าง จากข้อมูลย้อนหลังคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อเดือนของแต่ละ MDB ดังตารางที่ 4-3 นี้

ตารางที่ 4-3

เดือน - ปี	MDB - 1 - 2	MDB - 1 - 5	MDB - 4 - 4	MDB - W/H - 1
ก.พ. 2006	425,000	102,606	42,480	52,224
มี.ค. 2006	492,000	229,493	50,640	74,640
เม.ย. 2006	406,000	329,299	19,440	60,720
พ.ค. 2006	354,000	484,483	44,880	65,520
มิ.ย. 2006	352,000	670,030	41,520	59,280
ก.ค. 2006	459,000	883,336	44,880	64,800
ค่าเฉลี่ยต่อเดือน	414,667	449,875	40,640	62,864

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้} &= [(414,667 \times 1.6\%) + (449,875 \times 1.8\%) + (40,640 \times 2\%) \\
 &\quad + (62,864 \times 1.8\%)] \times 12 \\
 &= 200,121 \quad \text{kWh/ปี} \\
 &= 0.017 \quad \text{ktoe/ปี} \\
 \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 600,363 \quad \text{บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

4.3 การสูญเสียในขดลวดทองแดง

เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าพันจากขดลวดทองแดงทั้งสองด้านโดยจะมีค่าความต้านทานจากขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนั้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดทั้งสองซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปจะออกมาในรูปของความร้อน แบ่งออกเป็น

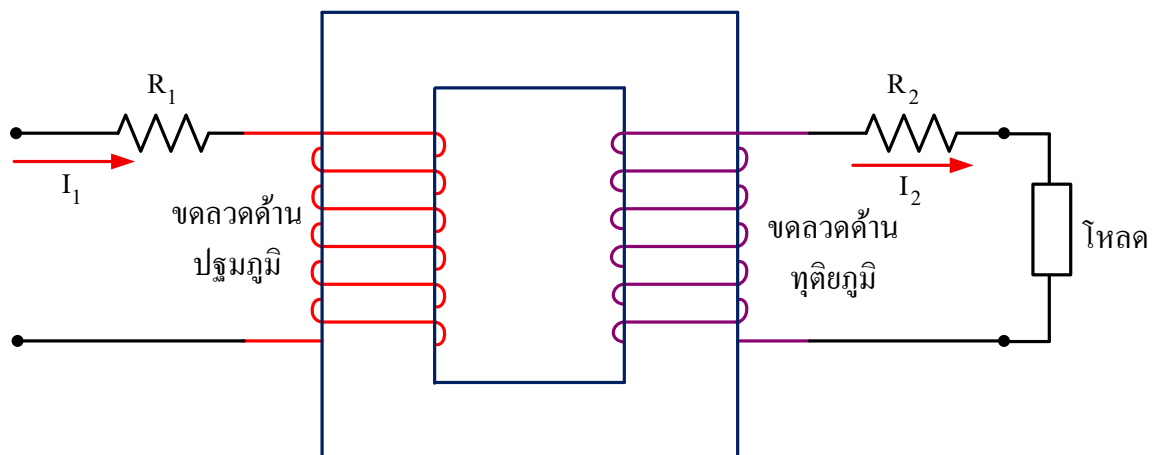
1. การสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ
2. การสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ

กำหนดให้

$$P_{Co1} = \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ}$$

$$P_{Co2} = \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ}$$

จากวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าความต้านทาน



รูปที่ 4-5 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

จากวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า รูปที่ 4-5 กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงหาได้ ดังนี้

$$P_{co1} = I_1^2 R_1 \quad \dots\dots\dots 4.1$$

$$P_{co2} = I_2^2 R_2 \quad \dots\dots\dots 4.2$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของขดลวด (P_{co})

$$P_{co} = P_{co1} + P_{co2} \quad \dots\dots\dots 4.3$$

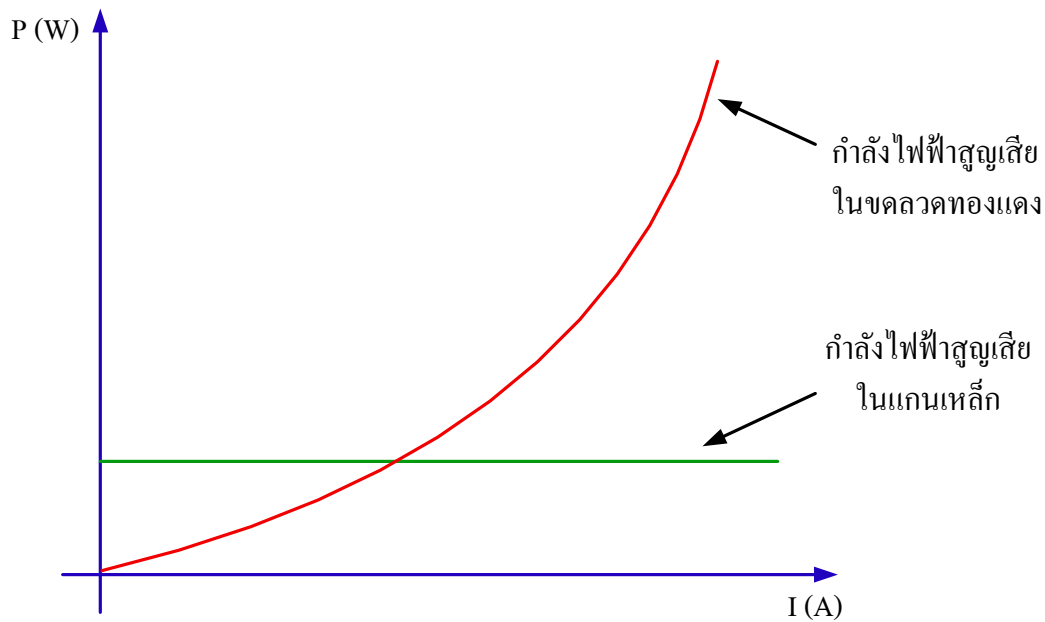
นอกจากนี้ การหากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดยังได้จากการย้ายค่าต่างๆ ดังนี้ จากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ

$$P_{co} = I_1^2 R_{01} \quad \dots\dots\dots 4.4$$

จากทางด้านปฐมภูมิมาไว้ทางด้านทุติยภูมิ

$$P_{co} = I_2^2 R_{02} \quad \dots\dots\dots 4.5$$

การสูญเสียในขดลวดทองแดงนี้จะมีค่าไม่คงที่โดยเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน คือ ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลมาก กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงจะมีค่ามากตามไปด้วย จากการสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยการสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในขดลวดทองแดง สามารถนำมาเขียนเป็นเส้นกราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-6 เส้นกราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4-6 จะเห็นว่าเส้นกราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไหล ส่วนเส้นกราฟสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งสองด้านของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไหล ยกกำลังสอง

4.4 การหาลำดับไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่พิกัดใดๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงนั้น เป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดหรือได้จากการทดสอบของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะลัดวงจร ก็เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของทองแดงเมื่อเต็มพิกัดเช่นเดียวกัน แต่ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจ่ายโหลดน้อยกว่าพิกัดหรือมากกว่าพิกัดจะทำให้สูญเสียในขดลวดทองแดงนั้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งสามารถหาได้ที่โหลดต่างๆ กันดังนี้

กำหนดให้	P_{co}	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด
	P_{con}	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดเมื่อจ่ายโหลดที่พิกัดใดๆ
	n	=	จำนวนเท่าที่พิกัดใดๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อจ่ายโหลดเทียบกับพิกัด

$$P_{co} = I^2 R_{eq}$$

$$P_{con} = (nI)^2 R_{eq}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_{con}}{P_{co}} &= \frac{(nI)^2}{I^2 R_{eq}} \\ &= \frac{n^2 I^2}{I^2} \times \frac{R_{eq}}{R_{eq}} = n^2 \end{aligned}$$

$$\frac{P_{con}}{P_{co}} = n^2 \quad \dots\dots\dots 4.6$$

4.5 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังอินพุตที่จ่ายเข้ามาให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าจะเป็นกำลังไฟฟ้า และมีกำลังไฟฟ้าบางส่วนได้สูญเสียไปในแกนเหล็กและในขดลวด โดยกำลังที่เหลือจะเป็นกำลังไฟฟ้าทางเอาต์พุต ถ้ากำหนดให้อัตราส่วนระหว่าง กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต กับกำลังไฟฟ้า อินพุตคือประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังอินพุต}} \times 100 \\ &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังเอาต์พุต} \times \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด}} \times 100 \\ \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad \dots\dots\dots 4.7 \\ &= \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต} \quad P_{out} &= V_2 I_2 \cos\theta \quad \dots\dots\dots 4.8 \\ &= \text{kVA} \times \text{pf.} \end{aligned}$$

$$\text{และกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด} \quad P_{loss} = P_c + P_{co} \quad \dots\dots\dots 4.9$$

4.6 การคำนวณค่าต่างๆ ในการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 4.6.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 25 kVA ขนาดแรงดัน 2200/250 V มีค่าความต้านทานจากขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ เป็น 1.5 และ 0.01936 ตามลำดับ เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลังและมีกำลังไฟฟ้าในแกนเหล็ก 260 W จงคำนวณหา

- ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด
- ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด
- ค. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงทั้งหมด

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

$$\begin{array}{llll} V_1 & = & 2200 \text{ V} & \text{และ} & V_2 & = & 250 \text{ V} \\ R_1 & = & 1.5 \ \Omega & \text{และ} & R_2 & = & 0.01936 \\ \text{Pf.} & = & 0.8 \text{ ล้าหลัง} & \text{และ} & P_c & = & 260 \text{ W} \end{array}$$

$$\text{พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า} = 25 \text{ kVA}$$

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{2200}{250}$$

$$a = 8.8$$

$$I_1 = \frac{\text{kVA} \times 10^3}{V_1} = \frac{25 \times 10^3}{2200}$$

$$I_1 = 11.36 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\text{kVA} \times 10^3}{V_2} = \frac{25 \times 10^3}{250}$$

$$I_2 = 100 \text{ A}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

$$\begin{aligned} P_{co1} &= I_1^2 R_1 = (11.36)^2 \times 1.5 \\ &= 193.5 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{co2} &= I_2^2 R_2 = (100)^2 \times 0.01936 \\ &= 193.6 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{co} = P_{co1} + P_{co2} = 193.5 + 193.6$$

$$P_{co} = 387.1 \text{ W}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด} = 387.1 \text{ W}$$

ตัวอย่างที่ 4.6.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 kVA ขนาดแรงดัน 2200/240 V เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลัง ให้ประสิทธิภาพ 90% และมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 500 W จงคำนวณหา

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดออกไปเท่ากับครึ่งหนึ่งของพิกัด

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

$$\begin{array}{llll} V_1 & = & 2200 \text{ V} & \text{และ} & V_2 & = & 240 \text{ V} \\ \text{Pf.} & = & 0.8 \text{ ล้าหลัง} & \text{และ} & P_c & = & 500 \text{ W} \\ \text{พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า} & = & 500 \text{ kVA} & \text{และ} & \eta & = & 97\% \end{array}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= \text{kVA} \times \text{pf.} \\ &= 50 \times 10^3 \times 0.8 \\ &= 40 \times 10^3 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{\text{out}} = 40 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100$$

$$\begin{aligned} P_{\text{in}} &= \frac{P_{\text{out}}}{\left(\frac{\eta}{100}\right)} \\ &= \frac{40 \times 10^3}{\left(\frac{97}{100}\right)} \\ &= 41.237 \times 10^3 \\ P_{\text{in}} &= 41.237 \text{ kW} \end{aligned}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

$$P_{\text{out}} + P_{\text{loss}} = P_{\text{in}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss}} &= P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \\ &= 41237 - 40000 \end{aligned}$$

$$P_{\text{loss}} = 1237 \text{ W}$$

$$P_c + P_{\text{co}} = P_{\text{loss}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{co}} &= P_{\text{loss}} - P_c \\ &= 1237 - 500 \end{aligned}$$

$$P_{co} = 737 \text{ W}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด} = 737 \text{ W}$$

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดออกไปเท่ากับครึ่งหนึ่งของพิกัดซึ่งกำหนดให้

$$P_{co(1/2)} = n^2 P_{co} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 737$$

$$P_{co(1/2)} = 184.25 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} &\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดออกไปเท่ากับ} \\ &\text{ครึ่งหนึ่งของพิกัด} = 184.25 \text{ W} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 4-6-3 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 75 kVA ขนาดแรงดัน 3300/400 V จากการทดสอบ มีดังนี้

	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)
ทดสอบสถานะเปิดวงจร(ทางด้านแรงดันทุติยภูมิ)	400	7.5	1.4
ทดสอบสถานะลัดวงจร(ทางด้านแรงดันทุติยภูมิ)	230	22.73	2.5

ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าตัวนี้จ่ายโหลดออกไป $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ เต็มพิกัด, $\frac{3}{2}$ เท่าของพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.8 ล้าหลัง จงคำนวณหา

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดที่จ่ายโหลดพิกัดต่างๆ

ค. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายโหลดพิกัดต่างๆ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

$$\text{ทดสอบในสถานะเปิดวงจร (เปิดวงจรด้านปฐมภูมิ)} \quad P_o = P_c = 1.4 \text{ kW}$$

$$\text{ทดสอบในสถานะเปิดวงจร (เปิดวงจรด้านทุติยภูมิ)} \quad P_{ac} = P_{co} = 2.5 \text{ kW}$$

$$V_1 = 3300 \text{ V} \quad \text{และ} \quad V_2 = 400 \text{ V}$$

$$\text{พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า} = 75 \text{ kVA} \quad \text{และ} \quad \text{pf.} = 0.8 \text{ ล้าหลัง}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก

จากการทดสอบแบบเปิดวงจร กำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมดและไม่ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะจ่ายโหลดไปเท่าไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กจะมีค่าคงที่

$$P_0 = P_c = 1.4 \text{ kW}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่า} = 1.4 \text{ kW}$$

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดที่จ่ายโหลดพิกัดค่าต่างๆ

จากการทดสอบแบบลัดวงจร กำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดและจะเปลี่ยนแปลงไปตามโหลดพิกัดค่าต่างๆ

$$P_{sc} = P_{co} = 2.5 \text{ kW}$$

เมื่อจ่ายโหลดที่ $\frac{1}{2}$ ของพิกัด $n = \frac{1}{2}$ จะได้

$$\begin{aligned} P_{co(1/2)} &= n^2 P_{co} \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 2.5 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$P_{co(1/2)} = 0.625 \text{ kW}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ $\frac{1}{2}$ ของพิกัดมีค่า = 0.625 kW

เมื่อจ่ายโหลดที่ $\frac{3}{4}$ ของพิกัด $n = \frac{3}{4}$ จะได้

$$\begin{aligned} P_{co(3/4)} &= n^2 P_{co} \\ &= \left(\frac{3}{4}\right)^2 \times 2.5 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$P_{co(3/4)} = 1.406 \text{ kW}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ $\frac{3}{4}$ ของพิกัดมีค่า = 1.406 kW

เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด $n = 1$ จะได้

$$\begin{aligned} P_{co(1/1)} &= n^2 P_{co} \\ &= \left(\frac{1}{1}\right)^2 \times 2.5 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$P_{co(1/1)} = 2.5 \text{ kW}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่เต็มพิกัดมีค่า = 2.5 kW

เมื่อจ่ายโหลดที่ $\frac{3}{2}$ ของพิกัด $n = \frac{3}{2}$ จะได้

$$P_{co(3/2)} = n^2 P_{co}$$

$$= \left(\frac{3}{2}\right)^2 \times 2.5 \text{ kW}$$

$$P_{co(3/2)} = 5.625 \text{ kW}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ $\frac{3}{2}$ ของพิกัดมีค่า = 5.625 kW

ค. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายโหลดพิกัดค่าต่างๆ

เมื่อจ่ายโหลดที่ $\frac{1}{2}$ ของพิกัดจะได้

$$P_{out} = \frac{1}{2} \times \text{kVA} \times \text{pf.}$$

$$= \frac{1}{2} \times 70 \times 10^3 \times 0.8$$

$$P_{out} = 30 \times 10^3 \text{ W}$$

$$= 30 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}}$$

$$= \frac{30}{30 + (1.4 + 0.625)} \times 100$$

$$\eta = 93.67\%$$

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ $\frac{1}{2}$ ของพิกัดมี = 93.67 %

เมื่อจ่ายโหลดที่ $\frac{3}{4}$ ของพิกัดจะได้

$$P_{out} = \frac{3}{4} \times \text{kVA} \times \text{pf.}$$

$$= \frac{3}{4} \times 75 \times 10^3 \times 0.8$$

$$P_{out} = 45 \times 10^3 \text{ W}$$

$$= 45 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}}$$

$$= \frac{30}{45 + (1.4 + 1.406)} \times 100$$

$$\eta = 94.13\%$$

4.7 การปลดหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงดันไฟฟ้าสูง ขณะไม่ได้ต่อใช้งาน

หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีการใช้งานหรือต่อกับโหลด ไม่ได้แปลว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่ทำงานแต่หม้อแปลงไฟฟ้ายังคงทำงานตามปกติ ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในหม้อแปลงไฟฟ้าและทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าสั้นลง ซึ่งในทางปฏิบัติถ้าเกิดไม่มีการต่อใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้ากับโหลด ควรที่จะทำการปลดหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงดันไฟฟ้าสูง เพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานและเป็นการยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าออกไปได้ โดยในการทำการปลดหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะต้องทำโดยผู้เชี่ยวชาญและในการปฏิบัติงานทุกครั้งควรมีอุปกรณ์ป้องกันและควรปฏิบัติงานอย่างน้อย 2-3 คนขึ้นไป

4.8 การย้ายโหลดให้เหมาะสมกับช่วงเวลา

อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate-TOU) กำหนดช่วง On Peak ตั้งแต่จันทร์ ถึงเสาร์เวลา 09.00 น. - 22.00 น. เป็นช่วงที่มีการคิดค่าไฟฟ้าที่สูงกว่าช่วง Off Peak (วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์) ถึงหน่วยละ 1.50 บาท ดังนั้น ควรที่ใช้ช่วงเวลาดังกล่าวมาจัดทำแผนเวลาในกระบวนการผลิต และกำหนดระยะเวลาทำงานของเครื่องจักรในช่วง off-peak ซึ่งการทำงานในช่วง Off Peak แทนช่วง On Peak จะสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้

ยกตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งมีการใช้งานเครื่องอบแก้ว ขนาด 32 กิโลวัตต์ ในการให้ความร้อนโดยเวลาทำงานปกติของโรงงานคือช่วงเวลา 08.00 น.-17.00 น. ซึ่งทุก ๆ วันทางโรงงานจะทำการอบแก้วใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน โรงงานใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ด้วยเงื่อนไขการทำงาน

ดังกล่าว จึงทำการย้ายช่วงเวลาการอบแก้วไปทำในช่วง Off Peak แทนเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ 126, 298.37 บาท/ปี

4.9 การควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) เป็นค่าปรับที่ทางไฟฟ้ากำหนดขึ้นมาเพื่อควบคุมพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในสถานประกอบการต่างๆ ไม่ให้มีค่ามากเกินไปในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกันไปตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

จากการสำรวจพบว่าสถานประกอบการมีปริมาณค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มากเกินไปกว่าความต้องการนั้น อาจเนื่องมาจากการใช้ไฟฟ้าอย่างไม่เหมาะสมจึงต้องมีการควบคุมการใช้ไฟฟ้า โดยการย้ายช่วงเวลาที่ต้องใช้ไฟฟ้าบางอย่างที่ไม่จำเป็นไปทำในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อย สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยไม่มีการลงทุนได้ ซึ่งการลดความต้องการพลังงานสูงสุดทุก 1 kW สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 74.14 - 210.00 บาท

4.10 การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ต้องการ การบำรุงรักษาน้อยกว่าเครื่องกลไฟฟ้าชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามหม้อแปลงก็ต้องการการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามระยะ ส่วนระยะในการตรวจสอบและบำรุงรักษานั้นจะนานเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับการใช้งาน สภาพสิ่งแวดล้อม สถานที่ตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นๆ สิ่งสำคัญในการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า คือ

1. อายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน มักเกิดปัญหาขึ้นบ่อยครั้ง เมื่อเทียบกับหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่ ควรตรวจสอบละเอียดและบ่อยครั้งมากขึ้น
2. ความสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าบางชนิด เมื่อมีการชำรุดเสียหายจะไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดได้ หรืออาจจะทำให้ไฟฟ้าดับ ถ้าเกิดขึ้นในส่วน of โรงงานอุตสาหกรรมจะทำให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก เพราะฉะนั้น ควรทำแผนหรือตารางตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า
3. สภาพแวดล้อมการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า มีความสำคัญมาก โดยเกี่ยวข้องถึงการทำความสะอาด การระบายอากาศของหม้อแปลงไฟฟ้า ฝุ่นละออง ความชื้น ซึ่งมีผลต่อฉนวนหม้อแปลงที่จะเสื่อมสภาพ ส่วนที่เป็นโครงหรือโลหะจะถูกสนิมกัดกร่อน
4. สภาพะการการใช้งานหม้อแปลง กรณีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่ผิดปกติ เช่น การใช้งานเกินพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือเมื่อเกิดการฟอลท์ (fault) ขึ้นในระบบส่ง-จ่าย ควรตรวจสอบอย่างรวดเร็วและรีบดำเนินการทันที เพื่อป้องกันการระเบิดหรือเสียหาย

การตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

การตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าและบำรุงรักษา มี 3 ชนิดดังนี้

1. การตรวจสอบประจำวัน (Daily Inspection) โดยการตรวจสอบสภาพภายนอกทั่วไปในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังใช้งานอยู่ เช่น สภาพสีหรือตัวถังหม้อแปลง สภาพของลูกถ้วยด้านแรงดันสูงและแรงดันต่ำระดับน้ำมันและสารกันความชื้น หรืออาจจะใช้หูฟังเสียงผิดปกติที่เกิดขึ้น หรือใช้มุกดมกลิ่นที่เหม็นไหม้ผิดปกติที่เกิดจากความร้อนสูง หรือใช้มือสัมผัส เป็นต้น

2. การตรวจสอบตามกำหนดเวลา (Regular Inspection) เป็นการตรวจสอบหม้อแปลงขณะไม่ถูกใช้งาน มี 2 ลักษณะ

2.1 การตรวจสอบประจำ (Routine Inspection) เป็นการใช้เวลาสั้นๆในการตรวจสอบบำรุงรักษา อาจจะเป็น 1-2 ครั้ง/ปี เป็นการตรวจสอบภายนอก ตรวจสอบการทำงาน ทำความสะอาด หยอดน้ำมันหล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ รวมวัดค่าความต้านทานฉนวนของขดลวดหม้อแปลง

2.2 การตรวจสอบเฉพาะ (Particular Inspection) ใช้เวลามากขึ้นในการตรวจสอบบำรุงรักษา อาจจะเป็นทุกปี หรือทุกๆ 2 ปี เป็นการตรวจสอบโดยละเอียด อาจจะต้องชิ้นส่วนต่างๆออกทั้งหมด เพื่อตรวจสอบภายในของหม้อแปลง หรือเปลี่ยนชิ้นส่วนบางชิ้นออกและแก้ไขข้อขัดข้องต่างๆ เพื่อให้พร้อมใช้งาน

3. การตรวจสอบพิเศษ (Special Inspection) เป็นการตรวจสอบที่ดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญของบริษัทผู้ผลิต เมื่อถึงกำหนดที่ต้องตรวจสอบตามอายุการใช้งาน ซึ่งจะทำให้การตรวจสอบขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าไม่ได้ใช้งาน

ตารางการตรวจสอบบำรุงรักษา

การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า		
รายการ	วิธีตรวจสอบ	ช่วงเวลาการตรวจสอบ
1. อุณหภูมิของหม้อแปลง	- จดค่าอุณหภูมิของอากาศ, น้ำมันหม้อแปลงและอุณหภูมิของขดลวด	- ทุกชั่วโมง
2. ระดับน้ำมันหม้อแปลง - Main tank - On load tap changer	- อ่านค่าจากเครื่องวัดระดับน้ำมัน (Oil level guage) - สังเกตดูรอยแตกรั่ว หรือมีละอองน้ำจับด้านในของกระจกหรือไม่	- ทุกวัน
3. น้ำมันรั่วซึม	- ตรวจสอบตามครีบบระบายความร้อน, ข้อต่อท่อวาล์ว และชิ้นส่วนอื่นๆ	- ทุกวัน
4. เสียงดังผิดปกติขณะทำงาน	- อาจเกิดจากการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยการใช้มือสัมผัส	- ทุกวัน

การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า (ต่อ)		
รายการ	วิธีตรวจสอบ	ช่วงเวลาการตรวจสอบ
5. บูชชิ่ง หรือ ปลอกกรองแกน (Bushing)	- ตรวจสอบระดับน้ำมันของบูชชิ่ง, รอยรั่วซึม, แตก, บิ่น, สกปรก	- ทุกวัน
6. ห้องหายใจกรองความชื้น (Air Breather)	- ตรวจสอบการเปลี่ยนสีของสารดูดความชื้น (Silica gel) - ตรวจสอบคราบน้ำมัน	- ทุกวัน
7. สภาพภายนอกโดยทั่วไป	- ตรวจสอบด้วยสายตา สังเกตดูสิ่งสกปรก, สนิม, หยดน้ำ, การเปลี่ยนสีของจุดต่อต่างๆ - ได้ยินเสียง หรือเห็นแสงที่เกิดจาก Partial discharge - สังเกตกลิ่นที่ผิดปกติ	- ทุกวัน
8. ระบบ Nitrogen-Seal	- ตรวจสอบ Nitrogen pressure gauge - สังเกตดูรอยแตกร้าว หรือละอองน้ำจับด้านในของกระบอก	- ทุกวัน
9. ล่อฟ้า (Lightning Arrester)	- ตรวจสอบสภาพทั่วไปของล่อฟ้า - จด Counter ล่อฟ้า	- ทุกวัน
	- วัดค่า Insulation Resistance ของล่อฟ้า	- ทุกปี
10. อุปกรณ์เปลี่ยนแทปขณะรับโหลด (On Load Tap Changer)	- ตรวจสอบสภาพภายนอกทาง OLTC. - จด Counter การทำงาน	- ทุกวัน
	- ตรวจสอบระดับน้ำมันเกียร์ของมอเตอร์เปลี่ยนแทป - ทดสอบค่าความคงทนของไดอิเล็กตริก (Dielectric Strength) ของน้ำมันหม้อแปลง	- ทุก 6 เดือน - ทุก 6 เดือน
	- ตรวจสอบสภาพภายในของ OLTC.เพื่อบำรุงรักษา	- ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต
11. ฐานรองรับหม้อแปลง	- ตรวจสอบรอยแตกร้าว หรือทรุดเอียง	- ทุก 6 เดือน

การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า (ต่อ)		
รายการ	วิธีตรวจสอบ	ช่วงเวลาการตรวจสอบ
12. น้ำมันหม้อแปลง (Transformer oil)	- ทดสอบค่าความคงทนของไดอิเล็กตริก ด้วย แรงดัน เสีย ส ภา พ ั บ พ ลั น (Breakdown voltage) ตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน BS 148 : 1972 มีขีดจำกัด เป็น 30 kV. - วัดค่าความเป็นกรดของน้ำมันหรือจุด สะเทิน (Acid or Neutralization value) ผลที่วัดได้จะต้องไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมของ KOH/กรัม ตามมาตรฐาน BS 148 : 1972 - วัดค่าความเป็นกรดของน้ำมันหรือจุด สะเทิน (Acid or Neutralization value) ผลที่วัดได้จะต้องไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมของ KOH/กรัม ตามมาตรฐาน BS 148 : 1972	- ทุก 1 ปี - ทุก 2-3 ปี - ทุก 2-3 ปี
13. จุดสายต่อลงดิน	- ตรวจสอบการหลุดหลวม, สลักกร่อนของจุด ต่อลงดินต่างๆ	- ทุก 1 ปี
14. อุปกรณ์ป้องกันต่างๆ	- ทดลองฟังก์ชันการทำงาน, ชุดป้องกัน ให้ ทำงานได้อย่างถูกต้องและปรับแต่งค่าให้ เทียบตรงตามความเป็นจริง	- ทุก 1-3 ปี
15. ค่า Insulation resistance ของขดลวดหม้อ แปลง	- ระหว่างขดลวดกับขดลวด, ขดลวดกับ กราวด์ด้วยเมกเกอร์ (Megger) ที่มีพิกัด แรงดันไฟตรงด้านออกขนาด 1000-2500 โวลต์ ค่าความต้านทานของฉนวนต่ำสุดที่ ยอมรับได้สำหรับหม้อแปลงระบบ 22 kV.- 33kV. วัดที่อุณหภูมิ 20 °C จะต้องไม่ต่ำกว่า 1000 MΩ หรือที่อุณหภูมิของหม้อแปลง 30 °C ต้องวัดได้ไม่ต่ำกว่า 500 MΩ	- ทุก 1-5 ปี
16. วัดค่าอัตราส่วนของ แรงดัน (Ratio test)	- ใช้เครื่องวัดที่เรียกว่า Ratio meter เพื่อ ตรวจสอบค่าอัตราส่วนของแรงดันหรือ จำนวนรอบทางด้านแรงสูงและแรงต่ำว่า ถูกต้องหรือไม่ อาจจะทดสอบด้วยวิธีง่ายๆ โดยการป้อนแรงดันขนาด 400 โวลต์เข้า ทางด้านแรงสูง ถ้าเป็นหม้อแปลงระบบ 22 kV. โดยมีด้านแรงต่ำเป็น 230, 400, 450 V. ก็จะวัดโวลต์ด้านแรงต่ำได้เป็น 4.2, 7.3, 8.4 V ตามลำดับ	- ทุก 5 ปี

การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า (ต่อ)		
รายการ	วิธีตรวจสอบ	ช่วงเวลาการตรวจสอบ
17. วัดค่าความต้านทานของขดลวดหม้อแปลง (Winding resistance)	- วิธีที่นิยมใช้ Wheatstone bridge สำหรับวัดค่าความต้านทานที่มีค่าสูง (มากกว่า 1 โอห์ม) และใช้ Kelvin double bridge สำหรับวัดค่าความต้านทานที่มีค่าต่ำๆ (ต่ำกว่า 1 โอห์ม) ในระหว่างการวัดถ้าขดลวดแช่อยู่ในน้ำมัน ควรจดค่าอุณหภูมิของน้ำมันเอาไว้ด้วย	- ทุก 5 ปี
18. วัดค่ากระแสกระตุ้น (Exciting current)	- วัดค่ากระแสกระตุ้นของขดลวดหม้อแปลงขณะเปิดวงจรของขดลวดอื่นๆ ไว้	- ทุก 5 ปี
19. ทดสอบค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor test) ของส่วนประกอบต่างๆ ของหม้อแปลง	- วัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบฉนวนโดยใช้ Power factor set เพื่อดูพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากกระแสรั่วไหลในฉนวน	- ทุก 5 ปี

ข้อแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาหม้อแปลง

1. ควรตรวจสอบหม้อแปลงโดยตลอดทันทีที่มีการตรวจรับหม้อแปลงจากบริษัท
2. ไม่ควรป้อนพลังงานไฟฟ้า (energized) แก่ หม้อแปลง จนกว่าจะเติมน้ำมันถึงระดับที่กำหนดไว้แล้วเท่านั้น
3. หลีกเลี่ยงการกระแทกหรือสั่นสะเทือนที่อาจจะเป็นอันตรายต่อโครงสร้างภายในระหว่างการโยกย้ายหรือขนส่ง
4. ตรวจสอบบูชชิงและส่วนประกอบอื่นๆ ให้ดีดแน่นก่อนที่จะนำไปใช้งาน
5. การเติมน้ำมันหม้อแปลง พึงระมัดระวังมิให้มีความชื้นหรือสารอินไดเจอปนลงไปในหม้อแปลงได้
6. ไม่ควรหิ้วยกหม้อแปลงที่บูชชิงหรืออุปกรณ์ที่ติดแน่นอยู่บนตัวหม้อแปลง ควรยกที่หูหิ้วของหม้อแปลงเท่านั้น
7. ถ้าเป็นหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายที่ติดตั้งอยู่กับเสาไฟฟ้า ควรยึดหม้อแปลงให้แน่นและอยู่ในแนวตั้ง
8. เมื่อทำการบำรุงรักษาชนิดป้องกัน (PM) ให้ทำการตรวจสอบที่บูชชิงทั้งหมด, ข้อต่อ, ประเกณ, อุปกรณ์ส่งสัญญาณป้องกัน, สี่ที่ทาตัวถังและส่วนประกอบภายนอกทั้งหมดในเรื่องสนิม รอยกัดกร่อน หรือ มีรอยรั่วซึมตรวจเช็คระดับน้ำมันและทดสอบสภาพความเป็นฉนวนของน้ำมัน (การทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมันนี้ควรกระทำทุก 3-6 เดือนสำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่) แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดเล็กให้กระทำทุกปี และเมื่อพบว่าน้ำมันมีค่าต่างไปจากมาตรฐานกำหนดให้ทำการกรองความบริสุทธิ์น้ำมันทันที

9. ทุกครั้งที่มีการเปิดตัวถังออกเพื่อตรวจสอบ เมื่อปิดฝาถังจะต้องปิดให้แน่นและตรวจสอบความสมบูรณ์ของประเกณด้วย

10. ถ้าหม้อแปลงหลายตัวต่อขนานกันไว้เพื่อช่วยกันจ่ายโหลด เวลาทำงานกับหม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่งจะต้องคำนึงถึงอันตรายที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่ย้อนกลับด้วย จึงควรปลดตัวที่กำลังตรวจสอบอยู่นั้นออกทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ

การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นระบบการทำงานที่มีความสำคัญยิ่ง ช่างที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ ความสามารถและความชำนาญเป็นการเฉพาะอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของวิศวกร มีความรู้เข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบทั้งภายในและภายนอกของหม้อแปลง รายละเอียดบนแผ่นป้ายของหม้อแปลง รวมทั้งชนิดของการตรวจสอบ และบำรุงรักษาของหม้อแปลงทั้งแบบประจำวันและตามกำหนดเวลา ตลอดจนมีความสามารถในการใช้งานเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า เช่น เมกเกอร์วิทสโตนบริดจ์ เรโซมิเตอร์ และเครื่องมือวัดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้ดี

แบบประเมินผลการเรียน

หน่วยที่ 3, 4

การทดสอบหาการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์เตจเรกกูเลชันและประสิทธิภาพ

คำสั่ง จงทำเครื่องหมาย X ลงข้อที่ถูกต้อง

1. หม้อแปลงไฟฟ้า มีหลักการทำงานอย่างไร

- ก. ขดลวดด้านทุติยภูมิเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้วย Mutual Flux
- ข. ขดลวดด้านทุติยภูมิเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วย Leakage Flux
- ค. ขดลวดด้านทุติยภูมิเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วย Residual Flux
- ง. ไม่มีข้อใดถูก

2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบใดเป็นสำคัญ

- ก. จำนวนรอบของขดลวด
- ข. ปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด
- ค. ความถี่ของกระแสไฟฟ้า
- ง. ถูกทุกข้อ

3. ข้อใดเป็นการทดสอบ วงจรปิด

- ก. เปิดวงจรด้านแรงสูง และป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงต่ำตามพิกัด
- ข. เปิดวงจรด้านแรงต่ำ และป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงสูงตามพิกัด
- ค. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงสูงตามพิกัด และลัดวงจรด้านแรงต่ำ
- ง. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงสูงเพียงเล็กน้อยกระแสไม่เกินพิกัด และลัดวงจรด้านแรงต่ำ

4. ข้อใดเป็นการทดสอบ วงจรลัด

- ก. เปิดวงจรด้านแรงสูง และป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงต่ำตามพิกัด
- ข. เปิดวงจรด้านแรงต่ำ และป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงสูงตามพิกัด
- ค. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงสูงตามพิกัด และลัดวงจรด้านแรงต่ำ
- ง. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงสูงเพียงเล็กน้อยกระแสไม่เกินพิกัด และลัดวงจรด้านแรงต่ำ

5. การทดสอบ การลัดวงจร มีประโยชน์อย่างไร

- ก. หาค่าการสูญเสียในขดลวดตัวนำได้
- ข. หาค่าสมมูลต่างๆได้
- ค. หาค่าโวลต์เตจเรกกูเลชันได้
- ง. ถูกทุกข้อ

6. การทดสอบ วงจรเปิด มีประโยชน์อย่างไร

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| ก. หาค่าการสูญเสียในขดลวดตัวนำได้ | ข. หาค่าสมมูลต่างๆได้ |
| ค. หาค่าโวลต์เตจเรกกูเลชั่นได้ | ง. หาค่าการสูญเสียในแกนเหล็กได้ |

7. การออกแบบการพัดขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า ควรคำนึงถึงอะไรบ้าง

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| ก. จุดประสงค์ของการนำไปใช้งาน | ข. พิกัดกำลังการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า |
| ค. ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ | ง. ถูกทุกข้อ |

8. การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้ามีกี่ส่วน อะไรบ้าง

- ก. 1 ส่วน การสูญเสียในขดลวด
- ข. 2 ส่วน การสูญเสียในขดลวดและแกนเหล็ก
- ค. 3 ส่วน การสูญเสียในขดลวด, แกนเหล็กและขั้วเชื่อมต่อภายในหม้อแปลง
- ง. 4 ส่วน การสูญเสียในขดลวด, แกนเหล็ก, ขั้วเชื่อมต่อภายในหม้อแปลงและระบบระบายอากาศ

9. ข้อใดคือการสูญเสียในแกนเหล็กหม้อแปลง

- ก. การสูญเสียฮีสเทอรีซิส
- ข. การสูญเสียกระแสไหลวน
- ค. ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง
- ง. ไม่มีข้อใดถูกต้อง

10. ข้อดีของการปรับลดแรงดันด้านทุติยภูมิ

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| ก. ลดการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า | ข. ยืดอายุการใช้งานให้กับอุปกรณ์ |
| ค. แรงดันในระบบคงที่ | ง. ถูกทุกข้อ |

11. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า หมายถึงอะไร

- ก. อัตราส่วนระหว่างด้านเอาต์พุต ต่อกำลังอินพุต
- ข. อัตราส่วนระหว่างด้านอินพุต ต่อกำลังเอาต์พุต
- ค. ความสามารถในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่ง
- ง. ถูกทุกข้อ

12. การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดใดมีค่าคงที่

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| ก. การสูญเสียในแกนเหล็ก | ข. การสูญเสียในขดลวดตัวนำ |
| ค. การสูญเสียในขดลวดด้านปฐมภูมิ | ง. การสูญเสียในขดลวดด้านทุติยภูมิ |

13. การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดใด ที่มีการแปรผันค่าไปกับค่ากระแสไฟฟ้าของโหลด

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| ก. การสูญเสียในแกนเหล็ก | ข. การสูญเสียในขดลวดตัวนำ |
| ค. การสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน | ง. ข้อ ข. และ ค. ถูกต้อง |

14. ข้อใดไม่ถูกต้อง

- ก. หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นได้
- ข. หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันให้ต่ำลงได้
- ค. ถ่ายโยงพลังงานไฟฟ้าจากวงจรหนึ่ง ไปยังอีกรวงจรหนึ่ง
- ง. จำกัดกระแสไฟฟ้าของโหลดได้

15. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 10 kVA ขนาดแรงดัน 1000/200 V มีค่าความต้านทานจาก ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ เป็น 2 และ 0.1 ตามลำดับ เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลังและมีกำลังไฟฟ้าในแกนเหล็ก 250 W จงหากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

- | | |
|----------|----------|
| ก. 400 W | ข. 450 W |
| ค. 500 W | ง. 550 W |

16. จากข้อ 15 จงหากำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

- | | |
|----------|----------|
| ก. 500 W | ข. 600 W |
| ค. 700 W | ง. 800 W |

17. จากข้อ 15 จงหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงทั้งหมด

- | | |
|---------|---------|
| ก. 80 % | ข. 85 % |
| ค. 90 % | ง. 95 % |

18. ข้อใดถูกต้อง เกี่ยวกับการปลดหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงสูง

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| ก. ยึดอายุการใช้งานของหม้อแปลง | ข. ลดการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า |
| ค. ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง | ง. ไม่มีข้อใดถูก |

19. การดูแลรักษาหม้อแปลงควรทำอย่างน้อยกี่ครั้ง/ปี

- | | |
|------------|------------------|
| ก. 1 ครั้ง | ข. 2 ครั้ง |
| ค. 3 ครั้ง | ง. กี่ครั้งก็ได้ |

20. อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate-TOU) กำหนดช่วง On Peak และ Off Peak อย่างไร

- ก. On Peak จันทร์-ศุกร์ 09.00 น. - 21.00 น, Off Peak (อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์)
- ข. On Peak จันทร์-เสาร์ 09.00 น. - 21.00 น, Off Peak (วันเสาร์-อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์)
- ค. On Peak จันทร์-ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น, Off Peak (อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์)
- ง. On Peak จันทร์-เสาร์ 09.00 น. - 22.00 น, Off Peak (วันเสาร์-อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์)