การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

ว่าที่ร้อยตรีนภัทร จงใจภักดิ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง

ว่าที่ร้อยตรีนภัทร จงใจภักดิ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

โดย ว่าที่ร้อยตรีนภัทร จงใจภักดิ์

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

---------- หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภานี น้อยยิ่ง)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

---------- ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัติ อัศวานุวัตร)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำโชค วัฒนานัย)

---------- กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ เย็นศิริ)

ชื่อ : ว่าที่ร้อยตรีนภัทร จงใจภักดิ์
ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำโชค วัฒนานัย
ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง และ 2) หาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง โดยมีกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ชั้นปีที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี ที่กำลังเรียนรายวิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า รหัสวิชา 20104-2009 จำนวน 19 คน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ 1) ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง 2) ใบปฏิบัติงาน 3) เฉลยใบปฏิบัติงาน 4) ใบเนื้อหา และ 5) แบบทดสอบก่อนเรียน และแบบทดสอบหลังเรียน

ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสระดับกลาง มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ 4.83 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ที่ 0.41 อยู่ในระดับ น้อย เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

(มีจำนวนทั้งสิ้น 155 หน้า)

คำสำคัญ : การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Acting Sublt. Napat Jongjaipak
Independent Study Title : Design and Development of Practical Training Kit for Intermediate-Level Three-Phase Induction Motor Control
Major Field : Electrical Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Independent Study Advisor : Numchoke Wattananaiya
Academic Year : 2024

ABSTRACT

The objectives of this research were: 1) to design and develop a practical training kit for intermediate-level three-phase induction motor control, and 2) to assess the learners' satisfaction toward the practical training kit for intermediate-level three-phase induction motor control. The target group consisted of 19 second-year vocational certificate (Vocational Certificate Level 2) students in the academic year 2024, majoring in Electrical Power at Uthai Thani Technical College, who were enrolled in the course *Electric Motor Control* (Course Code: 20104-2009).

The research tools developed included: 1) the practical training kit for intermediate-level three-phase induction motor control, 2) worksheets, 3) worksheet answer keys, 4) content handouts, and 5) pre-test and post-test assessments.

The learners' satisfaction toward the practical training kit for intermediate-level three-phase induction motor control had a mean score of 4.83, which was at the highest level, with a standard deviation of 0.41, which was at a low level—consistent with the proposed hypothesis.

(Total 155 Pages)

Keywords: Intermediate-Level Three-Phase Induction Motor Control

_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำโชค วัฒนานัย อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ได้ให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือ เทคนิค และวิธีการ ในการออกแบบและประเมินผลการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ท่านผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประเมินเครื่องมือการวิจัย แสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ เพื่อนำไปพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้สำเร็จ ไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหา จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติ ที่สนับสนุน และให้กำลังใจในการทำการค้นคว้าอิสระมาโดยตลอดจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน

นภัทร จงใจภักดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 รายวิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 20104-2009	6
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส	7
2.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	21
2.4 การออกแบบและสร้างชุดฝึก	15
2.5 การออกแบบและสร้างใบงาน	68
2.6 การประเมินคุณภาพชุดฝึก	73
2.7 การประเมินความพึงพอใจ	77
2.8 การหาประสิทธิภาพชุดฝึก	80
2.9 การวิจัยในชั้นเรียนเชิงปฏิบัติการ	85
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	88
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	89
3.1 ประชากรและกลุ่มเป้าหมาย	89
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	89
3.3 วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล	92

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 วิเคราะห์ข้อมูล	94
บทที่ 4 ผลการวิจัย	98
4.1 ผลการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	98
4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา	103
4.3 ผลการหาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	107
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	110
5.1 สรุป	110
5.2 อภิปรายผล	111
5.3 ข้อเสนอแนะ	112
บรรณานุกรม	113
ภาคผนวก ก	115
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการค้นคว้าอิสระ	115
ภาคผนวก ข	117
แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	117
แบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจ	125
ผลการประเมินคุณภาพแบบประเมินคุณภาพสื่อ/นวัตกรรมการเรียนการสอน	126
ผลการประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษา	136
ผลประเมินความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์	138
ภาคผนวก ค	147
การออกแบบชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	147
การพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	148
ภาคผนวก ง	150
คู่มือการใช้งานชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	151

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตัวอย่างการใช้งานชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	154
ประวัติผู้วิจัย	155

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ด้านคุณภาพของชุดการสอน	103
4-2	ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้	105
4-3	ความแตกต่างคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนและแบบทดสอบคะแนนหลังเรียน	107
4-4	ผลคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบหลังเรียน และใบปฏิบัติงาน	108
ข-1	ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ด้านเนื้อหาและกิจกรรม	126
ข-2	ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ด้านการวัดและประเมินผล	129
ข-3	ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ด้านเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา	133
ข-4	ผลการประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษา	136
ข-5	ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (Index of Item-Objective Congruence: IOC)	138

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	โครงสเตเตอร์ (Stator Frame)	8
2-2	แกนสเตเตอร์ (Stator Core)	8
2-3	แผ่นเหล็กลามิเนท (Laminate)	8
2-4	ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding)	9
2-5	โรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage Rotor)	9
2-6	โรเตอร์แบบพันขดลวด หรือแบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)	10
2-7	โรเตอร์แบบพันขดลวด หรือแบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)	10
2-8	ทิศทางการไหลของกระแสตามกฎมือขวาของตัวนำ (Right-hand rule of conductor)	11
2-9	ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กของตัวนำที่กระแสไหลในตัวนำในทิศเดียวกัน	12
2-10	ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กของตัวนำที่กระแสไหลในตัวนำในทิศต่างกัน	12
2-11	สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวด	13
2-12	กระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	14
2-13	การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนในช่วงเวลาต่าง ๆ	14
2-14	การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนบนตัวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอก	15
2-15	วงจรและวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์	16
2-16	วงจรกำลัง	16
2-17	วงจรควบคุม	17
2-18	ความสัมพันธ์ของแรงบิดกับความเร็วรอบและกระแสกับความเร็วรอบ วิธีการสตาร์ทโดยตรงหรือการสตาร์ทโดยใช้แรงดันเต็มพิกัด (Direct Start)	18
2-19	การต่อปลายขดลวดมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์และเดลต้า	19
2-20	ความสัมพันธ์ของแรงบิดกับความเร็วรอบและกระแสกับความเร็วรอบวิธีการสตาร์ทโดยลดแรงดันไฟฟ้า แบบสตาร์-เดลต้า	20
2-21	การกลับสายเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์คู่ใดคู่หนึ่งทำให้มอเตอร์กลับทางหมุน	21
2-22	สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐาน DIN IEC และ ANSI	23
2-23	แบบงานจริง (Working Diagram)	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-24	แบบแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)	31
2-25	แบบแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)	32
2-26	แบบสายเดียว (One Line Diagram)	32
2-27	แบบประกอบการติดตั้ง (Constructional Wiring Diagram)	33
2-28	โครงสร้างของสวิตช์ปุ่มกด	34
2-29	สวิตช์ปุ่มกดแบบกดติดปล่อยดับ	33
2-30	สวิทช์ฉุกเฉิน (Emergency Stop Switch)	35
2-31	สวิตช์เลือก (Selector Switch)	35
2-32	สวิตช์เลือกแรงดัน (Selector Volt)	36
2-33	สวิตช์เลือกกระแส (Selector Amp)	36
2-34	หลอดไฟสัญญาณแบบไม่มีหม้อแปลงแรงดัน	37
2-35	หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์	38
2-36	ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Coil)	38
2-37	แกนเหล็ก (Iron Core)	39
2-38	เพาเวอร์รีเลย์ (Power Relay)	40
2-39	รีเลย์หน่วงเวลา (Timer Relay Delay)	41
2-40	รีเลย์โหลดเกิน (Overload Reley)	42
2-41	หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแส	42
2-42	การเปลี่ยนอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส	43
2-43	การเปลี่ยนอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส	44
2-44	เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter)	45
2-45	เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter)	46
2-46	วงจรกำลังการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง	46
2-47	วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง แบบ Jogging	47
2-48	วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง	48
2-49	วงจรกำลังการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ - เดลต้า	48
2-50	วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ – เดลต้า แบบอัตโนมัติ	49
2-51	วงจรกำลังควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-52	วงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน แบบอัตโนมัติ	50
2-53	วงจรกำลังการกลับทางหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์	50
2-54	วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch	52
2-55	วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing)	53
2-56	วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plugging Reversing)	54
2-57	วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส หลังจากหยุด (After Stop)	54
2-58	อลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)	65
2-59	ภาพหน้าตัดของอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)	66
2-60	อลูมิเนียมคอมโพสิต (Aluminium Composite)	67
2-61	วงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน แบบอัตโนมัติ	67
3-1	การออกแบบโครงสร้างของ ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง	90
3-1	การออกแบบตำแหน่งของอุปกรณ์ของ ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง	90
4-1	ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง	98
4-2	ใบงานประกอบการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึกฯ	100
4-3	ใบเนื้อหาประกอบการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึกฯ	101
4-4	ตัวอย่างแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน	102
ค-1	การออกแบบโครงสร้างชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	147
ค-2	การออกแบบชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง	147
ค-3	ประกอบโครงสร้าง	148
ค-4	เตรียมฐานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์	148

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ค-5	ติดตั้งเทอร์มินอลบล็อค	149
ค-6	ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	149
ง-1	ตำแหน่งอุปกรณ์ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	151
ง-2	ตำแหน่งจุดต่อสายไฟสวิตซ์และหลอดไฟสัญญาณ	153
ง-3	ตัวอย่างการต่อใช้งานแมกเนติกคอนแทคเตอร์	154
ง-4	ตัวอย่างการต่อใช้งานเซอร์กิตเบรคเกอร์	154
ง-5	ตัวอย่างการต่อใช้งานไฟสวิตซ์และหลอดไฟสัญญาณ	155
ง-6	การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสเข้ากับชุดฝึก	155

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 เป็นหลักสูตรที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจัดการศึกษาด้านวิชาชีพระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ด้วยการต้องยกระดับการศึกษาวิชาชีพของบุคคลให้สูงขึ้นและสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ มุ่งเน้นการเรียนรู้สู่การปฏิบัติ เพื่อพัฒนาสมรรถนะกำลังคนระดับฝีมือ มีจรรยาบรรณวิชาชีพและกิตนิสัยที่เหมาะสมในการทำงานและเป็นที่ต้องการแรงงานฝีมือจำนวนมากของประเทศไทย เกี่ยวกับสถิติความต้องการแรงงาน พบว่า จำนวนผู้สมัครงานที่ได้รับการบรรจุงานในประเภทอุตสาหกรรมการผลิตมีจำนวนที่ค่อนข้างสูง ชี้ให้เห็นได้ว่าตลาดแรงงานประเภทอุตสาหกรรม มีความต้องการบุคลากรจำนวนมาก เช่น งานอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุตสาหกรรมการผลิตซึ่งต้องการคนที่มีทักษะเฉพาะทาง เป็นกำลังคนที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในงานเทคโนโลยี สามารถติดตั้ง บำรุงรักษา และซ่อมแซมมอเตอร์ในกระบวนการผลิตได้ สาเหตุของการขาดแคลนแรงงานฝีมือในประเทศไทย มีหลายประการ ได้แก่ การขาดการศึกษาและการฝึกอบรมที่ตรงตามความต้องการของตลาดแรงงาน โครงสร้างประชากรที่เปลี่ยนแปลง การอพยพย้ายถิ่นฐานของแรงงาน การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี การลงทุนจากต่างประเทศ

จากสถานการณ์ดังกล่าวข้างต้น เห็นได้ว่าอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร ดังนั้น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง จึงได้จัดการเรียนการสอนและบรรจุรายวิชา 20104 – 2009 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ไว้ในหมวดวิชาชีพเฉพาะ เพื่อให้นักเรียนมีทักษะเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งต้องเรียนรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ เกี่ยวกับการอ่านสัญลักษณ์ การเลือกใช้อุปกรณ์ และการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า เน้นการต่อวงจรในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เพราะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม การเรียนวิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาทักษะและความรู้ที่จำเป็นต่อการประกอบอาชีพในสาขาช่างไฟฟ้า เพื่อเตรียมพร้อมให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่จำเป็นต่อการประกอบอาชีพ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และตรงตามมาตรฐาน

ผู้วิจัยได้เข้านิเทศนักเรียนที่ออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพ เมื่อภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 และการพูดคุยกับผู้ควบคุมงานในสถานประกอบการ พบว่า นักเรียนไม่สามารถปฏิบัติงานจริงได้ เนื่องจากเมื่อขณะเรียนการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในสถานศึกษานั้น เป็นการเรียนรู้จากชุดฝึกทดลองที่มีเพียงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ติดอยู่หน้าชุดฝึกทดลองเพื่อต่อสายเข้ากับจุดต่อภายนอกเท่านั้น ไม่ได้ปฏิบัติต่อวงจรเข้ากับอุปกรณ์จริง ทำให้นักเรียนขาดความรู้ในเรื่องตำแหน่งของจุดต่อของอุปกรณ์จริง ขาดความเข้าใจในเรื่องของการติดตั้ง และขาดทักษะการต่อวงจรเพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากับอุปกรณ์จริง จึงส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถต่อวงจรหรือใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อความคุมมอเตอร์ไฟฟ้าได้ ผู้วิจัยได้สอบถามผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญงานทั้งในสถานศึกษาอาชีวศึกษาและสถานประกอบการ สรุปได้ว่า เครื่องจักรส่วนมากที่ใช้ในสถานประกอบการ เป็นเครื่องจักรกลที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส เป็นต้นกำลังของเครื่องจักร ดังนั้น ผู้ใช้งานควรต้องมีองค์ความรู้ ทักษะและความชำนาญในการควบคุม การใช้งาน รวมถึงการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้า นอกจากนั้น ผู้วิจัยยังได้ศึกษาปัญหาของชั้นเรียน รายวิชา 20104 – 2009 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี พบว่า ปัญหาเกี่ยวกับชุดฝึกที่มีอยู่เดิมนั้น เป็นชุดฝึกที่ใช้การต่อวงจรตามสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในชุดฝึกทดลองควบคุมมอเตอร์ตามที่นักเรียนได้กล่าวถึงจริง อีกทั้งยังมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปสถานที่อื่นเพื่อใช้สอนหรือฝึกอบรมได้อย่างสะดวก กอปรกับมีอายุการใช้งานมานานทำให้มีข้อจำกัดของการซ่อมบำรุงรักษา

ผู้วิจัยได้ศึกษา งานวิจัยต่อไปนี้ 1) ชุดปฏิบัติการเครื่องกลไฟฟ้า 3 เฟส ของปรีดา ทาไธสงค์ (2565 : มหาลัยราชภัฏอุดรธานี) ซึ่งได้ศึกษาการออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส และใบงานการทดลอง จำนวน 7 ใบงาน การทดลองชุดปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส โดยมีกลุ่มทดสอบคือ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ปีที่ 4 จำนวน 3 คน ทำการทดลองคนละ 7 ใบงาน การทดลองทั้งหมด 21 ครั้ง ผลการทดลองถูกต้อง 19 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 90.48 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ อยู่ในระดับ ดีมาก 2) การพัฒนาชุดฝึกทักษะการต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส สำหรับนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง ของสมพร อ่อนเกตุพล (2558 : วิทยาลัยเทคนิคลำพูน) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของชุดฝึกทักษะการต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส สำหรับนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง ตามเกณฑ์ประสิทธิภาพ 80/80 ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการใช้ชุดฝึกทักษะการต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่พัฒนาขึ้น โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนที่เรียนรายวิชามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 32 คน สรุปผลได้ดังนี้ 1. ชุดฝึกการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสลับ 1 เฟส มีประสิทธิภาพโดยรวม 87.02/89.30 และทุกชุดมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ใช้ชุดฝึกทักษะการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส หลังเรียนสูงกว่าก่อน

เรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (ค่าที่ 78.90) 3) การพัฒนาชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อส่งเสริมทักษะการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ของกิตติศักดิ์ คงสีไพร (2565 : มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม) กลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ประสิทธิภาพของชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (E1/E2) ผลการวิจัยพบว่า 1. ชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มีประสิทธิภาพ 89.90/90.17 2. กลุ่มเป้าหมายมีผลการวัดทักษะปฏิบัติหลังการเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากงานวิจัยดังกล่าว สรุปได้ว่า สื่อการสอน ชุดฝึกหรือชุดทดลอง มีประสิทธิภาพของชุดฝึกหรือชุดทดลอง ตามเกณฑ์ประสิทธิภาพ 80/80 สามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่ามากกว่า 80/80

ดังนั้น ปัญหาที่พบในชั้นเรียนของผู้วิจัย สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาในข้างต้น จากการค้นคว้าสามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบและพัฒนาสื่อการสอน ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ผู้วิจัยจึงมีความสนใจ พัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ สำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสด้วยแมคเนติคคอนแทคเตอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมระดับกลาง เหมาะสำหรับใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับรายวิชา 20104 – 2009 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า และการฝึกอบรมเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการแข่งขันทักษะการติดตั้งไฟฟ้าและควบคุมไฟฟ้า ของนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ในการแข่งขันทักษะวิชาชีพของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาตั้งแต่ระดับสถานศึกษาจนถึงระดับชาติต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

1.2.2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่ใช้ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ผู้เรียนกลุ่มเป้าหมายที่เรียนด้วยชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

1.3.2 ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง อยู่ในระดับพึงพอใจมาก

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ สำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

1.4.2 ใบงานและเฉลย ครอบคลุมวงจรควบคุมพื้นฐานถึงระดับกลาง ประกอบด้วย

1.4.2.1 ใบงานที่ 1 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง (Direct Start)

1.4.2.2 ใบงานที่ 2 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch

1.4.2.3 ใบงานที่ 3 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing)

1.4.2.4 ใบงานที่ 4 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing)

1.4.2.4 ใบงานที่ 5 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing)

1.4.2.4 ใบงานที่ 6 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star-Delta)

1.4.2.5 ใบงานที่ 7 การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน อัตโนมัติ (Automatic Sequence)

1.4.3 คู่มือการใช้งานชุดฝึก

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 นักเรียนสาขาไฟฟ้ากำลัง ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี มีความรู้และทักษะการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เพิ่มขึ้น

1.5.2 แผนกวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี ได้ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ สำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับการจัดการเรียนการสอน และการฝึกอบรม เพื่อแข่งขันทักษะวิชาชีพ ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ในสาขางานที่เกี่ยวข้องกับการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ด้วยแมคเนติกส์คอนแทกเตอร์ หรือฝึกซ้อมเพื่อจะทำการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานของสำนักงานพัฒนาฝีมือแรงงานได้

1.5.3 วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี ได้ต้นแบบชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ สำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง เพื่อพัฒนาต่อยอดในเชิงวิชาการต่อไป

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 การควบคุมระดับกลาง หมายถึง การใช้เพียง Magnetic Contactor เท่านั้นในการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ซึ่งเป็นการควบคุมมอเตอร์ระดับพื้นฐานถึงระดับกลาง เพราะ Magnetic Contactor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสลับวงจร ไม่ใช่สำหรับการควบคุมความเร็วหรือแรงบิดอย่างแม่นยำ การควบคุมด้วย Magnetic Contactor จึงจำกัดอยู่ที่การสตาร์ท การหยุด และการควบคุมทิศทางการหมุนเท่านั้น การควบคุมแบบนี้จึงไม่สามารถจัดเป็น "การควบคุมขั้นสูง" ได้ หากต้องการให้ชุดฝึกอบรมมีความซับซ้อนและครอบคลุมมากขึ้น ควรพิจารณาเพิ่มองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น Timer, Overload Relay และระบบป้องกันอื่น ๆ เพื่อให้ครอบคลุมการควบคุมที่ซับซ้อนมากขึ้น แต่ยังคงใช้ Magnetic Contactor เป็นหลักในการควบคุม เช่น วงจรการควบคุมลำดับการทำงาน (Sequencing) ที่ซับซ้อนขึ้น หรือการควบคุมแบบ Star-Delta เป็นต้น ซึ่งมีเพิ่มความซับซ้อนและความรู้ที่นักเรียนจะได้รับแต่ยังคงอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการใช้ Magnetic Contactor เป็นหลัก

1.6.2 การควบคุมขั้นสูง คือ วิธีการควบคุมมอเตอร์ที่มีความซับซ้อน สามารถควบคุมความเร็วหรือแรงบิดได้อย่างแม่นยำ เช่น (1) Vector Control (การควบคุมเวกเตอร์) เป็นวิธีการควบคุมที่ซับซ้อนกว่าการใช้ Magnetic Contactor สามารถควบคุมความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำ มักใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำสูง อาจใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ PLC ในการควบคุม (2) Field-Oriented Control (การควบคุมเชิงสนามแม่เหล็ก) คล้ายกับ Vector Control แต่เน้นการควบคุมสนามแม่เหล็กภายในมอเตอร์ ให้ความแม่นยำสูงเช่นกัน (3) PLC-based Control (การควบคุมด้วย PLC) ใช้ Programmable Logic Controller (PLC) ในการควบคุมมอเตอร์ให้ความยืดหยุ่นสูง สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้หลากหลาย เหมาะสำหรับระบบควบคุมที่ซับซ้อน (4) Closed-loop Control (การควบคุมแบบวงปิด) ใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็วหรือแรงบิดของมอเตอร์ และใช้ข้อมูลนี้ในการปรับการควบคุม ให้ความแม่นยำและเสถียรภาพสูงกว่าการควบคุมแบบวงเปิด และ (5) การควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีการอื่น ๆ ที่ซับซ้อนกว่า เช่น การใช้เทคนิคการสลับความถี่ (PWM) ที่ซับซ้อนหรือการใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณขั้นสูง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ สำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ให้สอดคล้องกับคำอธิบายรายวิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 20104-2009 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ปีพุทธศักราช 2562 สาขางานไฟฟ้ากำลัง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ในบทที่ 2 นี้ ผู้วิจัยขอนำเสนอหัวข้อศึกษาเฉพาะจำเป็นต่องานวิจัยครั้งนี้ ดังต่อไปนี้

2.1 รายวิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 20104-2009

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส

2.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

2.4 การออกแบบและสร้างชุดฝึก

2.5 การออกแบบและสร้างใบงาน

2.6 การประเมินคุณภาพชุดฝึก

2.7 การประเมินความพึงพอใจ

2.8 การหาประสิทธิภาพชุดฝึก

2.9 การวิจัยในชั้นเรียนเชิงปฏิบัติการ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รายวิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 20104-2009

2.1.1 จุดประสงค์รายวิชา

1) เข้าใจหลักการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานต่าง ๆ

2) เลือกวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

3) มีทักษะเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

4) มีเจคติและกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน มีความละเอียดรอบคอบ ปลอดภัย เป็นระเบียบ สะอาด ตรงต่อเวลา มีความซื่อสัตย์และมีความรับผิดชอบ

2.1.2 สมรรถนะรายวิชา

1) แสดงความรู้เกี่ยวกับสัญลักษณ์โครงสร้างและหลักการทำงานของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

2) เลือกขนาดของสาย อุปกรณ์ป้องกัน คอนแทกเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

3) ต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสสลับ 1 เฟส และ 3 เฟส

2.1.3 คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับงานควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า สัญลักษณ์ตามมาตรฐาน IEC DIN ANSI การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC DIN และ ANSI การเลือก ขนาดของสาย อุปกรณ์ป้องกัน คอนแทกเตอร์ หลักการเริ่มเดินและควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสและ 3 เฟส งานเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC DIN และ ANSI งานต่อวงจรเริ่มเดินและงานต่อวงจรการเริ่มเดินการกลับทางหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง งานต่อวงจรควบคุมการเริ่มเดิน การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส การต่อวงจรควบคุมสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสลับ 3 เฟส แบบ Direct Start งานต่อวงจรควบคุมกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบ Jogging Plugging และ After Stop งานการต่อวงจรควบคุมสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบ Star-Delta แบบเรียงลำดับ

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส

2.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (Three-Phase Induction Motor or Asynchronous Motor) มอตอร์เหนี่ยวนำ หรืออินดักชั่นมอเตอร์นั้น มีบทบาทสำคัญต่อต่อกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมาก ในปัจจุบันมีมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประกาศ

มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส และสามเฟสมีโครงสร้างและส่วนประกอบเบื้องต้นที่เหมือนกัน คือ 1) ส่วนอยู่กับที่ (Stator) 2) ส่วนที่หมุน (Rotor) และ 3) ฝาครอบ

2.2.1.1 ส่วนอยู่กับที่ (Stator)

ส่วนอยู่กับที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า สเตเตอร์ (Stator) สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่วนำสามเฟส มีหลักการ และโครงสร้างเหมือนกับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์สามเฟส ประกอบด้วย

2.2.1.1.1 โครงสเตเตอร์ (Stator Frame) ทำด้วยเหล็กหล่อรูปทรงกระบอกกลวง ผิวด้านนอกโลหะออกแบบเป็นครีบเพื่อช่วยระบายความร้อน ฐานด้านล่างทำเป็นขาตั้ง มีกล่องต่อสายไว้ด้านบนหรือด้านข้าง โครงสเตเตอร์ทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ ในมอเตอร์ขนาดเล็กโครงสร้างสเตเตอร์ทำด้วยเหล็กหล่อ (Cast Iron) แต่ในมอเตอร์ขนาดใหญ่มักทำด้วยเหล็กหล่อเหนี่ยว (Cast Steel) ซึ่งจะทำให้โครงสเตเตอร์บางลง ซึ่งจะช่วยลดน้ำหนักลงได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

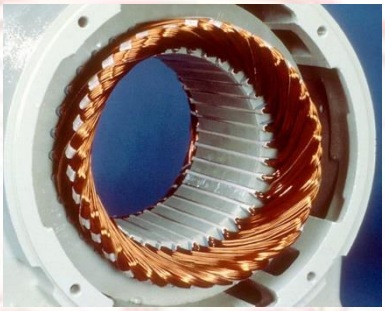
ภาพที่ 2-1 โครงสเตเตอร์ (Stator Frame)
(**ที่มา :** https://www.justdial.com/india/Stator-Frame Manufacturers?btype=Manufacturers)

2.2.1.1.2 แกนสเตเตอร์ (Stator Core) ทำด้วยเหล็กแผ่นบางๆ ปั๊มด้านในเป็นร่องสำหรับพันขดลวดกว่า แผ่นเหล็กลามิเนท (Laminate) นำแผ่นเหล็กดังกล่าวมาเคลือบฉนวนทั้งสองด้าน แล้วนำมาอัดติดกันเป็นแกนสเตเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้สำหรับพับพันขดลวดสเตเตอร์ และยังทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กด้วย

ภาพที่ 2-2 แกนสเตเตอร์ (Stator Core)
(**ที่มา :** https://netimexchina.en.made-in-china.com/product/DwhJuULYhgWZ/China-Stator-Motor-Iron-Core-Stator-Lamination.html)

ภาพที่ 2-3 แผ่นเหล็กลามิเนท (Laminate)
(**ที่มา :** https://motorneo.com/segmented-motor-lamination-stacks/)

2.2.1.1.3 ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) หมายถึง ขดลวดทองแดงเคลือบด้วยฉนวนลงในร่องของแกนสเตเตอร์ ประกอบด้วยขดลวดจำนวน 3 ชุด (3 เฟส) พันเรียงห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า การต่อปลายสายขดลวดทั้ง 3 ชุดเข้าด้วยกัน ต่อได้ 2 แบบคือ แบบสตาร์ แบบเดลต้า (Delta)



ภาพที่ 2-4 ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding)
(**ที่มา :** https:// aawva.com/resource/2016/3/25/typical-failures-in-three-phase-stator-windings)

2.2.1.2 ส่วนที่หมุน (Rotor)

2.2.1.2.1 โรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) แกนโรเตอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นลามิเนท (Laminated Sheet Steel) เซาะผิวด้านนอกให้เป็นร่องโดยรอบเรียกว่า สล้อท (Slot) ตรงกลางแผ่นจะเจาะสำหรับสอดเพลา นำเหล็กแผ่นดังกล่าวมาอาบฉนวนแล้วนำมาอัดเข้าด้วยกันแล้วฝั่งแท่งทองแดง (Copper Bars) เข้าไปในร่องของแกนโรเตอร์ทุกร่อง ปลายของแท่งทองแดงทั้งสองข้างจะเชื่อมถึงกันด้วยวงแหวนทองแดงสองวง (Two Copper End-Rings) เพื่อให้แท่งทองแดงเหล่านั้นลัดวงจรถึงกันหมด โครงสร้างของแท่งทองแดงดังกล่าวจะมีลักษณะคล้ายกับกรงกระรอก ด้วยสาเหตุดังกล่าว จึงมีชื่อเรียก โรเตอร์ ชนิดนี้ว่า "โรเตอร์แบบกรงกระรอก"

ภาพที่ 2-5 โรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage Rotor)
(**ที่มา :** https://www.bodine-electric.com/blog/ac-induction-gearmotors/)

2.2.1.2.2 โรเตอร์แบบพันขดลวด หรือแบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) แกนโรเตอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นปั๊มเป็นร่องแล้วนำมาอัดเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก มีขดลวดทองแดงอาบน้ำยาฉนวนไฟฟ้าจำนวน 3 ชุด (3 เฟส) พันอยู่ในร่องของแกนโรเตอร์ ขดลวดแต่ละเฟสพันเรียงห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ต้องพันให้เกิดจำนวนขั้วแม่เหล็กเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ ปลายสายของขดลวดทั้งสามเฟสจะต่อรวมกันเป็นแบบสตาร์ ปลายสายที่เหลือจะต่อกับสลิปริง 3 อัน ซึ่งมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่ และมีสายต่อจากแปรงถ่านออกไปภายนอกเพื่อต่อกับความต้านทานที่ปรับค่าได้จำนวน 3 ตัวซึ่งต่อแบบสตาร์ (Wye-Connected Rheostat)

ภาพที่ 2-6 โรเตอร์แบบพันขดลวด หรือแบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)
(**ที่มา :** https://www.sosteneslekule.blogspot.com/2016/02/three-phase-wound-rotor-induction-motor.html)

2.2.1.3 ฝาครอบ

ฝาครอบทั้ง 2 ข้างของมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีรูสำหรับใส่สลักเกลียวยึดติดกับกรงและบุช หรือตลับลูกปืน สำหรับรับรองเพลาโรเตอร์ให้หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลางของสเตเตอร์ และเพื่อป้องกันการเสียดสีระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์

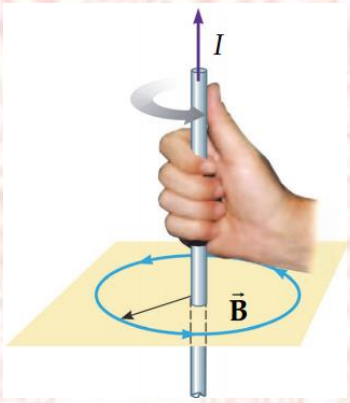
ภาพที่ 2-7 โรเตอร์แบบพันขดลวด หรือแบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)
(**ที่มา :** http://th.ezleediecasting.com/casting-parts/motor-engines/motor-flange-end-cover.html)

2.2.2 การเกิดสนามแม่เหล็ก (Production of Rotating Field)

2.2.2.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้า

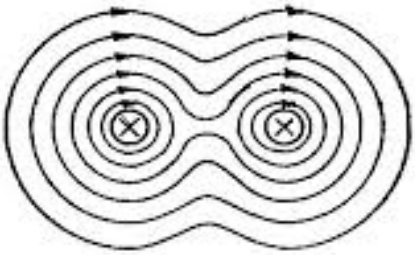
เมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบตัวนำนั้นปรากฏการณ์นักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์คชื่อ แฮนส์ คริสเดียน เออร์สเดด (Hans Cristian Oersted) ณ กรุงโคเฮเกน ปี ค.ศ.1820 เขาพบว่า เมื่อเอาลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านไปวางเหนือเข็มทิศเข็มทิศจะบ่ายเบนไปในตั้งฉากกับเส้นลวดตัวนำ โดยทิศทางตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกา ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ไหลไหลในเส้นลวดตัวนำ นั่นหมายความว่า มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กรอบเส้นลวดตัวนำ และทิศทางกระแสในเส้นลวดตัวนำ สามารถหาได้โดยใช้ "กฎมือขวาของตัวนำ" (Right-hand Rule of Conductor) คือ ถ้าใช้มือขวากำรอบตัวนำที่มีกระแสไหลผ่าน โดยให้หัวแม่มือชี้ทิศทางของกระแส ปลายนิ้วมือทั้งสี่ที่กำรอบตัวนำจะชี้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำ

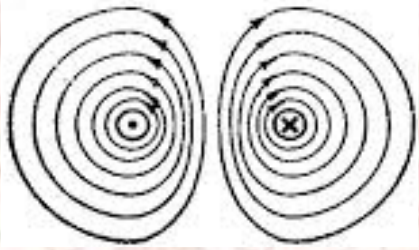


ภาพที่ 2-8 ทิศทางการไหลของกระแสตามกฎมือขวาของตัวนำ (Right-hand rule of conductor)
(**ที่มา :** https://www.facebook.com/photo.php?fbid=908721155952&id&locale=th_TH)

เมื่อนำเส้นลวดตัวนำสองเส้นที่มีกระแสไหลในทิศทางเดียวกันมาวางใกล้ ๆ กัน สนามแม่เหล็กทั้งสองจะหมุนไปในทิศทางเดียวกัน ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำทั้งสองจะพยายามดึงดูดลวดตัวนำทั้งสองเส้นเข้าหากัน แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดทั้งสองเส้นมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กรวบตัวนำจะหนาแน่นมากบริเวณตรงช่องระหว่างลวดตัวนำทั้งสองเส้น จึงเกิดแรงผลักทำให้ลวดทั้งสองเส้นแยกตัวออกจากกัน จึงสรุปได้ว่า เมื่อตัวนำสองตัววางขนานกัน หากมีกระแสไหลผ่านในทิศทางเดียวกัน จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน หากมีกระแสไหลผ่านไปในทิศทางตรงข้ามจะเกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน



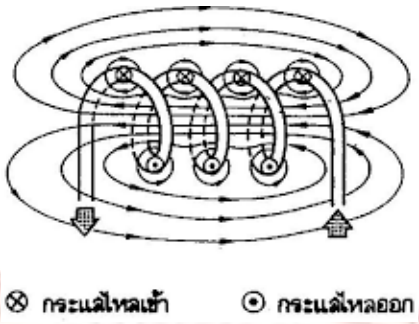
ภาพที่ 2-9 ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กของตัวนำที่กระแสไหลในตัวนำในทิศเดียวกัน
(**ที่มา :** https://blog.rmutl.ac.th/montri/assets/dc01.pdf)



ภาพที่ 2-10 ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กของตัวนำที่กระแสไหลในตัวนำในทิศต่างกัน
(**ที่มา :** https://blog.rmutl.ac.th/montri/assets/dc01.pdf)

2.2.2.2 สนามแม่เหล็กรอบขดลวด

แม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะเกิดขึ้นทุก ๆ จุดตลอดความยาวของเส้นลวดตัวนำ ซึ่งสนามแม่เหล็กนั้นประกอบด้วย วงของเส้นแรงแม่เหล็กซ้อนกันหลาย ๆ วง และมีจุดศูนย์กลางร่วมกันคือเส้นลวดตัวนำ หากนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid) แกนอากาศ แล้วนำปลายทั้งสองของขดลวดต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด สนามแม่เหล็กของขดลวดแต่ละรอบจะคล้องกับสนามแม่เหล็กของรอบที่อยู่ติดกัน ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดทุกรอบจะทำให้ทำให้ขดลวดโซลีนอยค์ ดังกล่าวกลายเป็นแม่เหล็กสองขั้ว โดยปลายด้านซ้ายของขดลวดจะเป็นขั้วเหนือ และปลายด้านขวาจะเป็นขั้วใต้ ถ้านำขดลวดพันรอบแกนเหล็ก จะทำให้แกนเหล็กมีคุณสมบัติกลายเป็นแม่เหล็กได้ชั่วคราว ทิศทางการเกิดขั้วแม่เหล็กได้จากการไหลของกระแส ซึ่งสามารถหาทิศการเกิดสนามแม่เหล็กได้จากกฎมือขวา โดยทิศเหนือของขั้วแม่เหล็กจะขนานไปกับทิศการไหลของกระแส



ภาพที่ 2-11 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวด
(**ที่มา :** https://blog.rmutl.ac.th/montri/assets/dc01.pdf)

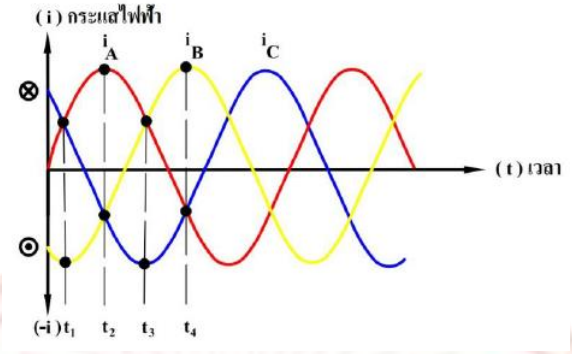
2.2.2.3 สนามแม่เหล็กหมุน

สนามแม่เหล็กหมุนเกิดจากกระแสระบบไฟฟ้า 3 เฟส ไหลผ่านขดลวด 3 เฟส ที่พันอยู่ในร่องของสเตเตอร์ โดยที่กระแสแต่ละเฟสจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของแหล่งจ่าย จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก คล้ายกับเกิดการหมุนของสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กหมุนนี้มีความเร็วคงที่ เรียกว่า “ความเร็วซิงโครนัส” (Snychonous Speed) ความเร็วซิงโครนัสขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า สามารถเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$Ns = 120f/P \qquad (2\text{-}1)$$

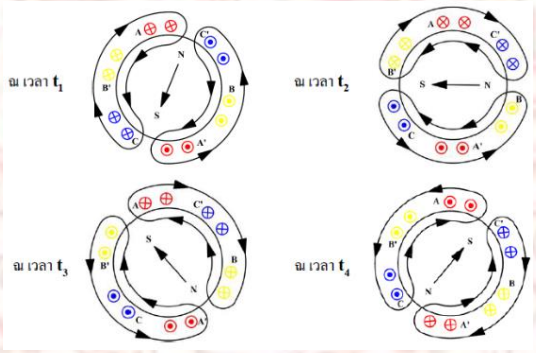
เมื่อ Ns = ความเร็วซิงโครนัส (RPM)
f = ความถี่ของแหล่งจ่าย (Hz)
P = จำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์

จากภาพที่ 2-11 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของกระสไฟฟ้าในแต่ละเฟสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในลักษณะของรูปคลื่อนไซน์ (Sine Wave) และภาพที่ 2-12 แสดงให้เห็นการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนซึ่งเปลี่ยนแปลงทิศทางการเกิดตามขดลวดที่มีค่ากระแสสูงสุดในช่วงเวลานั้น พิจารณา ณ เวลา t_2 กระแสในเฟส A หรือ i_A มีค่ามากสุดในไซเคิลบวก จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่มีทิศทางขนานกับขดลวด A ชี้ไปตามทิศทางการไกลของกระแสเข้า และกระแสออกในขดลวด A



ภาพที่ 2-12 กระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

(**ที่มา :** https://www.facebook.com/photo/?fbid=159453555778616&set=pcb.159454)



ภาพที่ 2-13 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนในช่วงเวลาต่าง ๆ

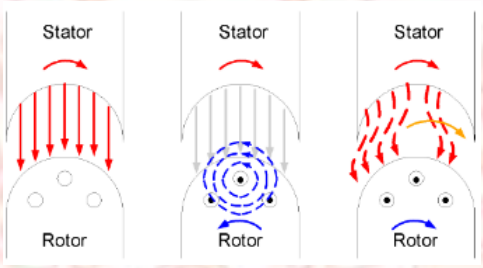
(**ที่มา :** https://www.facebook.com/photo/?fbid=159453555778616&set=pcb.159454)

2.2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เมื่อจ่ายไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ให้ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสเตเตอร์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ซึ่งเคลื่อนที่ตัดกับแท่งตัวนำที่โรเตอร์ ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์จะเคลื่อนที่มากับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ เป็นผลทำให้สนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์เกิดการเบี่ยงเบน จึงเกิดแรงบนแท่งตัวนำโรเตอร์ และทำให้โรเตอร์ หมุนไปในทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าว ซึ่งโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ 1) แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Case Rotor) และ 2) แบบโรเตอร์พันขดลวด (Wound Rotor)

2.2.3.1 แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Case Rotor)

โรเตอร์แบบกรงกระรอก เมื่อป้อนไฟฟ้าสามเฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่โรเตอร์เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์ และเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ตัวนำในโรเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ที่มีทิศทางเสริมกับสนามแม่เหล็กรอบตัวนำในโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงกระทำกับแท่งตัวนำบนโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงหมุนไปในทิศทางเดียวกัน กับสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ ซึ่งความเร็วของโรเตอร์นี้จะมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ

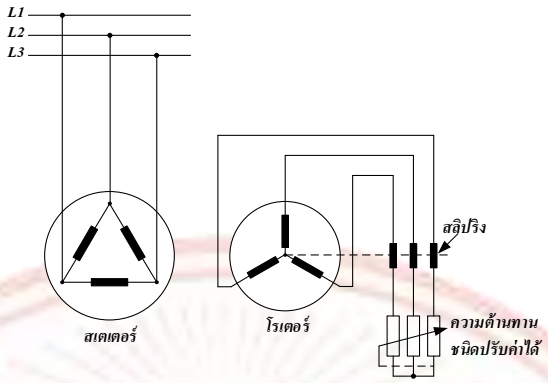


ภาพที่ 2-14 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนบนตัวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอก
(**ที่มา :** https://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=2481)

2.2.3.2 แบบโรเตอร์พันขดลวด (Wound Rotor)

โรเตอร์พันขดลวดหรือวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าสามเฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์ เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กนี้จะเหนียวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนียวนำ และมีกระแสไหลในวงจรของโรเตอร์ กระแสนี้จะไหลผ่านความต้านทานภายนอก ที่ต่อรวมกับขดลวดโรเตอร์เพื่อช่วยในการเดิน และปรับแต่งความเร็ว

ขณะเริ่มเดินต้องปรับค่าความต้านทานภายนอก (ความต้านทานที่ปรับได้ 3 ตัวต่อแบบสตาร์) ไว้ในตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานสูงสุด จะมีผลทำให้แรงบิดเริ่มหมุนเพิ่มขึ้น กระแสขณะสตาร์ทจะลดลงเมื่อความเร็วของมอเตอร์สูงขึ้น แล้วจึงค่อยค่อยลดความต้านทานภายนอกลง ขณะนี้มอเตอร์มีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น เมื่อลดความต้านทานภายนอกลงจนหมด สลิปริงค์ (Slip Ring) จะถูกรัดวงจรที่จุดต่อสตาร์ของความต้านทานภายนอก มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วพิกัด (Rated Speed) ถ้าต้องการปรับแต่งความเร็วของมอเตอร์แบบนี้ ทำได้โดยการเพิ่มหรือลดค่าความต้านทานภายนอก ตามปกติแล้วปรับความเร็ว จะปรับจากความเร็วเต็มพิกัดจนถึงความเร็วต่ำกว่าพิกัด ไม่สามารถปรับให้มีค่าความเร็วสูงกว่าความเร็วเต็มพิกัดได้

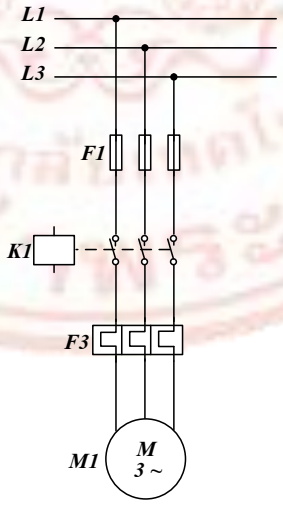


ภาพที่ 2-15 วงจรและวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 158)

2.2.4 วิธีการเริ่มเดินและการกลับทางหมุน

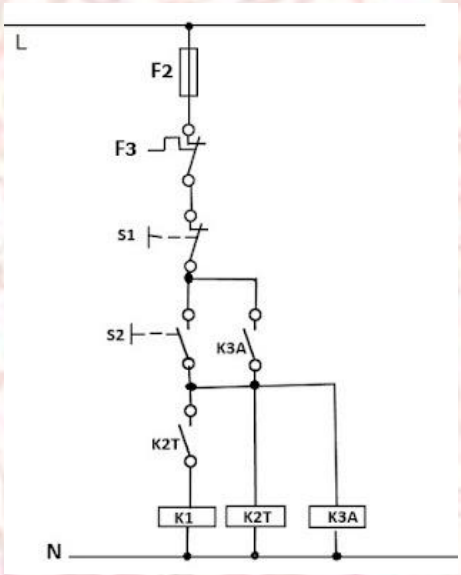
2.2.4.1 การใช้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์

2.2.4.1.1 วงจรกำลัง หรือเรียกอีกอย่างนึงว่า วงจรพาเวอร์ (Power Circuit) ซึ่งประกอบด้วย ฟิวส์กำลัง F1 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสลัดวงจรของสายเมน หน้าสัมผัสหลักของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 ทไหน้าที่ตัดกระแสไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์ โดยโอเวอร์โหลดรีเลย์ F3 ทำหน้าที่ป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไกลเกิน ก่อนที่มอเตอร์จะไหม้ และมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอก M1 ทำหน้าที่เป็นโหลดในวงจร



ภาพที่ 2-16 วงจรกำลัง
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 143)

2.2.4.1.2 วงจรควบคุม หรือเรียกว่า วงจรคอนโทรล (Control Circuit) วงจรควบคุมอาจมีหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร และเงื่อนไขการทำงานของวงจร โดยมีองค์ประกอบพื้นฐานที่ต้องมีการติดตั้งไว้ในวงจรควบคุม ได้แก่ ฟิวส์ควบคุม F2 ทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรของวงจรคสบคุมทั้งหมด หน้าสัมผัสของโอเวอร์โหลดรีเลย์ F3 ทำหน้าที่ตัดวงจรควบคุมเพื่อให้มอเตอร์หยุดการทำงาน กรณีกระแสไหลเกินที่มอเตอร์ คอยล์แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 ทำหน้าที่เป็นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟเข้าที่คอยล์ จะทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนเป็นสภาวะตรงกันข้ามจากเปิดจะเปลี่ยนเป็นปิด หรือจากปิดเปลี่ยนเป็นเปิด สวิตช์ควบคุมโดยทั่วไปแล้วมีหน้าสัมผัสปกติปิด จะใช้เป็นสวิตช์สำหรับหยุดการทำงานของวงจร ส่วนสวิตช์ที่มีหน้าสัมผัสปกติเปิด จะใช้สำหรับเริ่มเดินวงจร หลอดไฟสัญญาณทำหน้าที่เพื่อบ่งบอกสถานการณ์ทำงานของวงจร

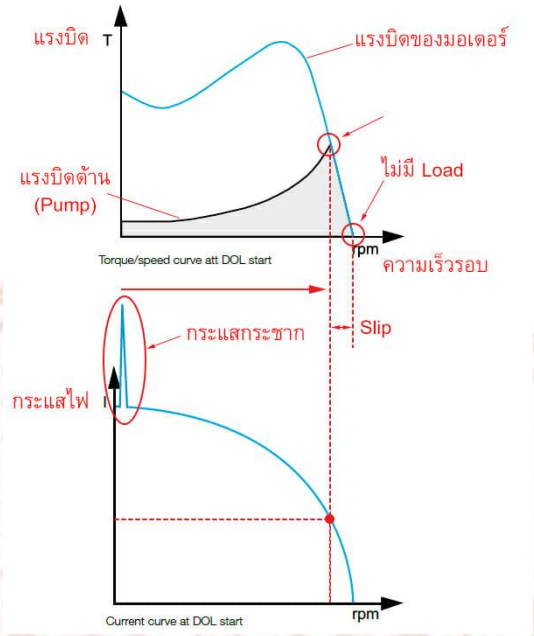


ภาพที่ 2-17 วงจรควบคุม

(**ที่มา :** https://elearnkrutung.blogspot.com/2019/01/blog-post.html)

2.2.4.2 วิธีการสตาร์ทโดยตรงหรือการสตาร์ทโดยใช้แรงดันเต็มพิกัด (Direct Start)

การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอกด้วยการต่อโดยตรงกับแหล่งจ่าย (Direct On Line start : DOL) การเริ่มเดินแบบนี้ แรงบิดเริ่มเดิน (Starting Torque) จะสูงประมาณ 1.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด แต่กระแสเริ่มเดิน (Starting Current) จะสูงประมาณ 4-7 เท่าของกระแสเต็มพิกัด จึงเหมาะสำหรับการเดินมอเตอร์ที่มีขนาดไม่เกิน 7.5 แรงม้า (Horse Power : HP) เนื่องจากเกิดแรงดันตก หรือไฟกระพริบขณะเริ่มเดินมอเตอร์ และมอเตอร์ที่เริ่มเดินแบบนี้ควรเป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วเดียว



ภาพที่ 2-18 ความสัมพันธ์ของแรงบิดกับความเร็วรอบและกระแสกับความเร็วรอบ วิธีการสตาร์ทโดยตรงหรือการสตาร์ทโดยใช้แรงดันเต็มพิกัด (Direct Start) (**ที่มา :** https://mall.factomart.com/guide-to-motor-control/why-different-starting-methods/)

2.2.4.3 วิธีการสตาร์ทโดยลดแรงดันไฟฟ้า แบบสตาร์-เดลต้า (Reduced Voltage Star-Delta Starting)

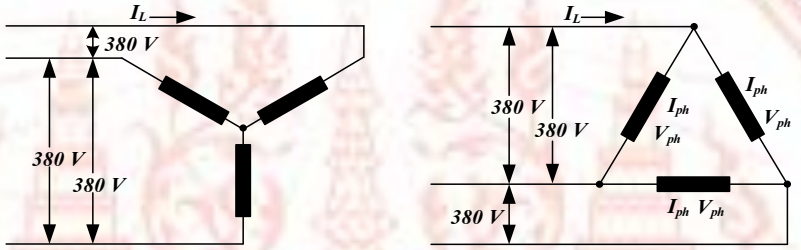
การเริ่มเดินมมอเตอร์หรือการสตาร์ทมอเตอร์ (Reduce Voltage Starter) โดยการลดแรงดันไฟฟ้า มีจุดประสงค์เพื่อต้องการลดกระแสขณะเริ่มเดินให้ต่ำลง ซึ่งการเริ่มเดินมอเตอร์แต่ละครั้งกระแสจะสูงมากประมาณ 4-8 เท่าของพิกัดกระแสมอเตอร์เครื่องนั้น โดยจะส่งกระทบต่อระบบไฟฟ้าและมอเตอร์ เช่น แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงชั่วขณะ หรือที่เรียกว่าไฟกระพริบ จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของโหลดไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียง จึงเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อโหลดไฟฟ้าอื่นๆ หรือทำให้กระแสมากเกิน เกิดความร้อนที่ขดลวด ฉนวนเกิดความเสื่อมเสียหาย เป็นอันตรายต่อมอเตอร์ไฟฟ้า

ดังนั้น เพื่อให้การเริ่มเดินมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 7.5 แรงม้า ขึ้นไป ไม่กระทบกระเทือนต่อวงจรอื่นๆ จำเป็นต้องใช้วิธีการลดกระแสขณะเริ่มเดินให้น้อยลงมากที่สุด นอกจากไม่ให้เกิดความเสียหายต่อตัวมอเตอร์แล้ว จะไม่กระทบต่อระบบวงจรไฟฟ้าอีกด้วย

การเริ่มเดินมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า เป็นวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ที่เป็นที่นิยมกันมาก เพราะประหยัดและสะดวก โดยการลดแรงดันขณะเริ่มเดินให้ต่ำลง จะส่งผลให้กระแสขณะเริ่มเดินนั้น

ต่ำลง เหลือเพียง 1.3–2.6 เท่าของพิกัดกระแส จึงกล่าวได้ว่าเป็นวิธีการลดกระแสขณะเริ่มเดินนั้นเอง แต่แรงบิดเริ่มหมุนจะเหลือเพียง 33 % เท่านั้น

ในช่วงแรกมอเตอร์ไฟฟ้าจะต่อวงจรขดลวดภายในมอเตอร์เป็นแบบสตาร์ แรงดันที่ขดลวดมอเตอร์แต่ละเฟสประมาณ 58 % ของแรงดันในระบบ จากนั้นรอจนกว่าความเร็วรอบสูงขึ้นถึงประมาณ 75 % ของความเร็วพิกัด จึงต่อวงจรขดลวดให้เป็นแบบเดลต้า จากขั้นตอนดังกล่าวจึงเรียกว่า “เริ่มหมุนแบบสตาร์ รันแบบเดลต้า” ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันทั่วไปในการต่อใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส



ภาพที่ 2-19 การต่อปลายขดลวดมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์และเดลต้า

(**ที่มา :** https://mall.factomart.com/guide-to-motor-control/why-different-starting-methods/)

เมื่อพิจารณา การต่อแบบสตาร์สามารถลดกระแสไฟฟ้าได้ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของการต่อแบบสตาร์-เดลต้า จะพบว่า การต่อแบบสตาร์สามารถหาค่า กระแสไลน์ (I_L) กระแสเฟส (I_{ph}) และกำลังไฟ (P) ได้จากสมการ

$$I_L = I_{ph} \quad (2\text{-}2)$$

$$V_L = \sqrt{3}\, V_{ph} \quad (2\text{-}3)$$

$$P = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\varphi \quad (2\text{-}4)$$

การต่อแบบเดลต้าสามารถหาค่า กระแสไลน์ (I_L) กระแสเฟส (I_{ph}) และกำลังไฟ (P) ได้จากสมการ

$$I_L = \sqrt{3}\, I_{ph} \quad (2\text{-}5)$$

$$V_L = V_{ph} \quad (2\text{-}6)$$

$$P = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\varphi \quad (2\text{-}7)$$

กำหนดให้

I_L = กระแสไฟฟ้าในระบบ

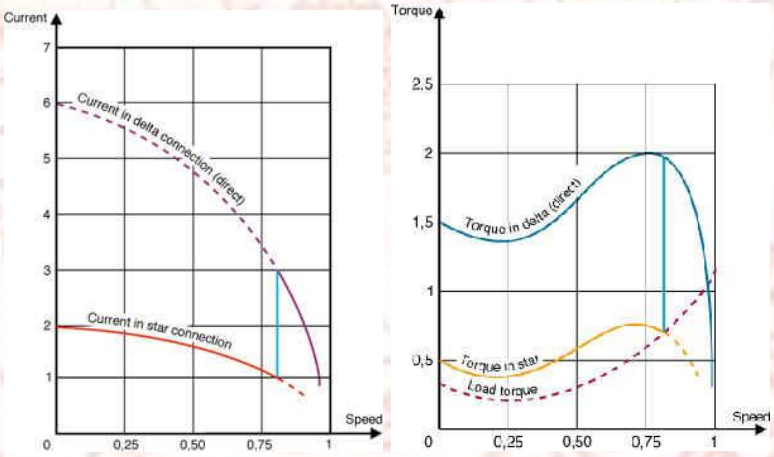
I_{ph} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในขดลวดมอเตอร์

V_L = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างสายไลน์ 2 เส้นของระบบ (L-L)

V_{ph} = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดมอเตอร์

P = กำลังไฟฟ้า

ดังนั้น เมื่อแรงดัน V_{ph} ลดลงจาก 380 V เหลือ 220 V กระแส I_{ph} จึงลดลงตามไปด้วย และมีค่าเท่ากับ I_L ดังนั้น ในตอนเริ่มแรกที่ต่อแบบสตาร์จึงสามารถลดกระแสเริ่มหมุนได้นั้นเอง ต่อมาเมื่อแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back e.m.f.) มากขึ้น กระแสจะลดลง จึงต้องเปลี่ยนเป็นวงจรแบบเดลต้าเพื่อรองรับแรงดันเต็มพิกัดได้ อย่างไรก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะลดลงประมาณ 1/3 เท่าของการสตาร์ท หรือเริ่มเดินโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากแรงบิดมีค่าแปรผันตามกระแสนั้นเอง



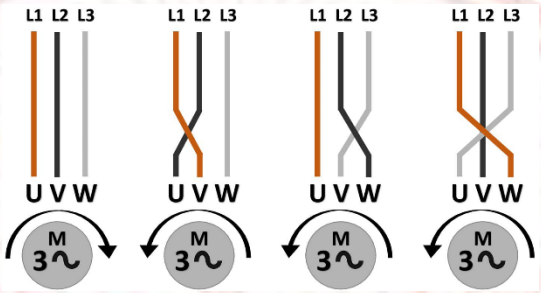
ภาพที่ 2-20 ความสัมพันธ์ของแรงบิดกับความเร็วรอบและกระแสกับความเร็วรอบ วิธีการสตาร์ทโดยลดแรงดันไฟฟ้า แบบสตาร์-เดลต้า

(**ที่มา :** https://www.9engineer.com/au_main/Drives/drcCon1.htm)

2.2.4.4 การกลับทางหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ในโรงงานอุตสาหกรรม มีเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น เครื่องกลึง เครื่องตัด เครื่องกลัด เครื่องรีดโลหะ และเครนยกของ เป็นต้น เครื่องจักรดังกล่าวจำเป็นต้องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน และสามารถกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า ให้หมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้

การให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสกลับทางหมุน สามารถทำได้โดยการสลับสายเมนใน (สายที่จ่ายไฟเข้ามอเตอร์) เพียงคู่ใดคู่หนึ่งส่วนอีกสายหนึ่งให้คงไว้เช่นเดิม โดยอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการกับทางหมุนของมอเตอร์ จะต้องสามารถสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งตามที่ได้กล่าวไว้ การกลับทางหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสามารถทำด้วยอุปกรณ์หลายชนิด โดยมีหลักเกณฑ์เดียวกัน คือต้องการอุปกรณ์ที่สามารถกลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งที่จะต่อเข้ามอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 2-21 การกลับสายเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์คู่ใดคู่หนึ่งทำให้มอเตอร์กลับทางหมุน
(**ที่มา :** https://www.facebook.com/photo/?fbid=558258482268545&set=a.11385888)

2.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

2.3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

สัญลักษณ์ (Symbol) ในงานควบคุม หมายถึง เครื่องหมายที่เขียนหรือกำหนดขึ้นใช้แสดงแทนอุปกรณ์การควบคุม เพื่อประโยชน์ในการเขียนวงจรควบคุม และเพื่อให้เข้าใจตรงกันระหว่างผู้เขียนแบบ ผู้อ่านแบบ และผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการหรือโรงงานอุตสาหกรรม ได้มีการนำเครื่องจักรที่ผลิตขึ้นทั้งในประเทศ และต่างประเทศมาใช้ในงานสายงานการผลิต เพื่อลดการใช้กำลังงาน และต้นทุนการผลิตโดยทุกเครื่องจำเป็นต้องใช้มอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลัง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการทำงานผู้ปฏิบัติงานในโรงงานจะต้องมีความรู้ และความเข้าใจในการสั่งการหรือควบคุมเครื่องจักรนั้น ๆ ทำงานได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานดังกล่าวจะต้องมีความรู้ความเข้าใจด้านอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ตลอดจนสัญลักษณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งผู้ผลิตเครื่องจักรแต่ละประเทศอาจจะใช้สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน

2.3.2 มาตรฐานสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่ใช้กันทั่วไปโดยเปรียบเทียบมาตรฐานมีดังนี้

1) DIN ย่อมากจาก Deutsches Institut Für Normung หมายถึง มาตรฐานการออกแบบของประเทศเยอรมัน

2) IEC ย่อมากจาก International Electrotechnical Commission หมายถึง มาตรฐานทางไฟฟ้านานาชาติของทวีปยุโรป

3) ANSI ย่อมากจาก American National Standard Institute หมายถึง มาตรฐานการออกแบบของประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3.3 มาตรฐาน DIN (Deutsches Institut für Normung)

มาตรฐาน DIN (Deutsches Institut für Normung) คือ ระบบมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นโดยหน่วยงานมาตรฐานของประเทศเยอรมนี เป็นองค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดและพัฒนามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับหลายกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างเช่น อุตสาหกรรมเชื่อม การผลิต การวัด และหลายกลุ่มอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา และการผลิตสินค้าและบริการต่าง ๆ

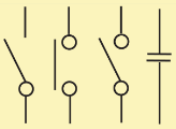
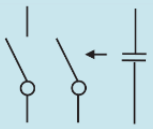
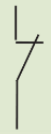
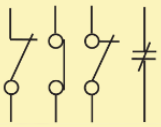
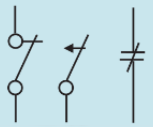
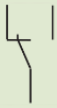
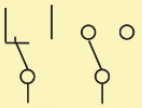
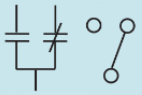
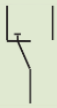
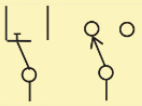
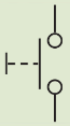
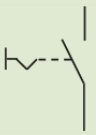
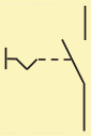
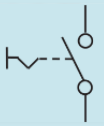
DIN มีบทบาทที่สำคัญในการส่งเสริมคุณภาพ และประสิทธิภาพในการผลิต การมีมาตรฐาน DIN ที่ชัดเจนช่วยให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมสามารถประกอบการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับมาตรฐานระดับโลก

นอกจากนี้ มาตรฐาน DIN ยังมีความสำคัญในส่วนของการสั่งซื้อวัสดุและสินค้า เนื่องจากมาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้นี้ช่วยให้การค้าขายเป็นไปอย่างเป็นระบบ และมีความมั่นใจในคุณภาพของสินค้าที่จะได้รับ

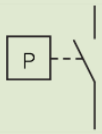
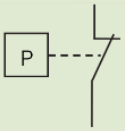
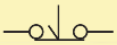
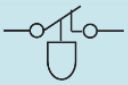
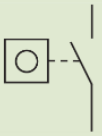
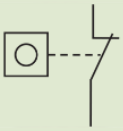
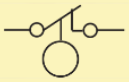
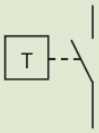
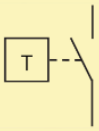
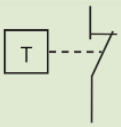
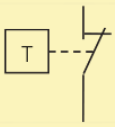
ทั้งนี้ DIN ยังมีบทบาทในการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างประเทศ ผ่านการมีส่วนร่วมในองค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ เพื่อให้มาตรฐานที่กำหนดไว้สามารถนำไปใช้ได้ทั่วโลก

มาตรฐาน DIN ได้รับการสนับสนุนจากหลายภาคส่วนของอุตสาหกรรม และภาครัฐในการพัฒนา และรักษามาตรฐานที่มีความทันสมัย และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม ทำให้มาตรฐาน DIN เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการพัฒนาและการขายสินค้าและบริการในตลาดทั้งใน และนอกประเทศ มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงธุรกิจและอุตสาหกรรมทั่วโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพและมั่นใจ

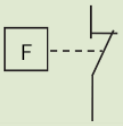
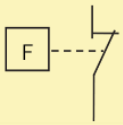
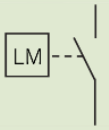
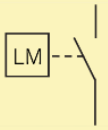
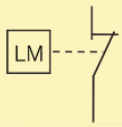
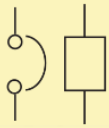
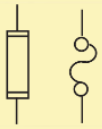
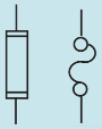
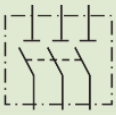
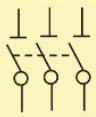
2.3.4 สัญลักษณ์สำหรับวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
หน้าสัมผัสปกติเปิด Normally Open (NO)			
หน้าสัมผัสปกติปิด Normally Close (NC)			
หน้าสัมผัสแบบเลือกได้ 2 ทาง			
หน้าสัมผัสแบบเลือกได้ 2 ทาง ชนิดต่อก่อนตัด			
สวิตช์ปุ่มกด หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO)			
สวิตช์ปุ่มกด หน้าสัมผัสปกติปิด (NC)			
สวิตช์ปุ่มกด หน้าสัมผัสค้าง			

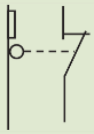
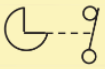
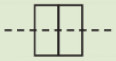
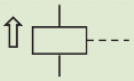
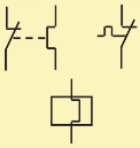
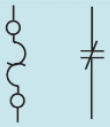
ภาพที่ 2-22 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐาน DIN IEC และ ANSI (**ที่มา :** ศุภชัย เก้าเอี้ยน และปลวัชร เต่งภู่, 2562)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
สวิตช์ความดัน หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO)			
สวิตช์ความดัน หน้าสัมผัสปกติปิด (NC)			
สวิตช์ลูกลอย หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO)			
สวิตช์ลูกลอย หน้าสัมผัสปกติปิด (NC)			
สวิตช์ทำงานด้วยความร้อน หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO)			
สวิตช์ทำงานด้วยความร้อน หน้าสัมผัสปกติปิด (NC)			
สวิตช์ควบคุมการไหล หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO)			

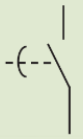
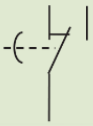
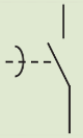
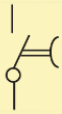
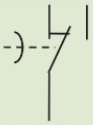
ภาพที่ 2-22 (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
สวิตช์ควบคุมการไหล หน้าสัมผัสปกติปิด (NC)			
สวิตช์จำกัดระยะ หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO)			
สวิตช์จำกัดระยะ หน้าสัมผัสปกติปิด (NC)			
สวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์			
ฟิวส์			
สวิตช์ตัดโหลด แบบ 3 ขั้ว			–
สวิตช์แยกวงจร แบบ 3 ขั้ว			

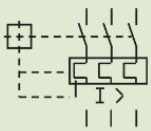
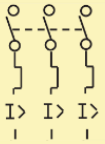
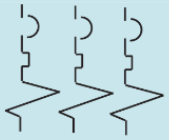
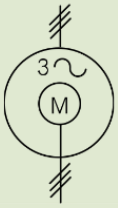
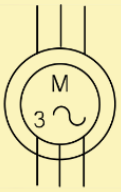
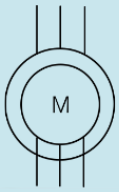
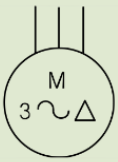
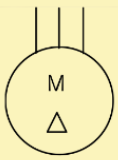
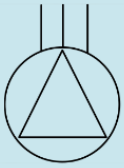
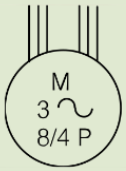
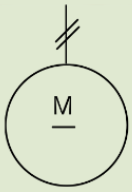
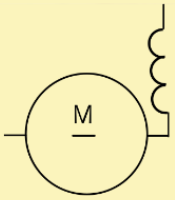
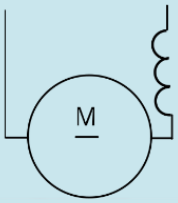
ภาพที่ 2-22 (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
สวิตช์แบบทำงานด้วยเท้า			
สวิตช์แบบทำงานด้วยลูกเบี้ยว			
อุปกรณ์ปลดสับทางกล		–	
คอยล์ของคอนแทกเตอร์ หรือ คอยล์รีเลย์			
คอยล์ของคอนแทกเตอร์ขณะทำงาน (มีกระแสไหลผ่าน)		–	–
ปลดวงจรด้วยแม่เหล็ก			
รีเลย์โหลดเกิน ปลดวงจรด้วยความร้อน			

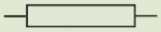
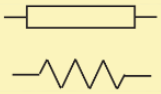
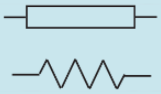
ภาพที่ 2-22 (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
อุปกรณ์ปลดวงจร เมื่อกระแสเกิน			
อุปกรณ์ปลดวงจร เมื่อแรงดันต่ำ			
รีเลย์ตั้งเวลา หน้าสัมผัสปกติเปิด รอเวลาปิด			
รีเลย์ตั้งเวลา หน้าสัมผัสปกติปิด รอเวลาเปิด			
รีเลย์ตั้งเวลา หน้าสัมผัสปกติเปิด รอเวลาปิด หลังจากตัดไฟ			
รีเลย์ตั้งเวลา หน้าสัมผัสปกติปิด รอเวลาเปิด หลังจากตัดไฟ			

ภาพที่ 2-22 (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
ตัดตอนอัตโนมัติชนิด 3 ขั้ว แบบปลดวงจรโดยอาศัยความร้อนและแม่เหล็กไฟฟ้า			
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ตัวหมุนพันด้วยขดลวด			
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ตัวหมุนแบบกรงกระรอก			
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 2 ความเร็ว แบบเปลี่ยนขั้วจาก 8 ขั้วเป็น 4 ขั้ว		–	–
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบอนุกรม			

ภาพที่ 2-22 (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
หม้อแปลงแบบแยกขดลวด 2 ขด			
หม้อแปลงแบบออโต			
หม้อแปลงกระแส (CT)			
หม้อแปลงแรงดัน (PT)			
ความต้านทาน			
หลอดสัญญาณ			

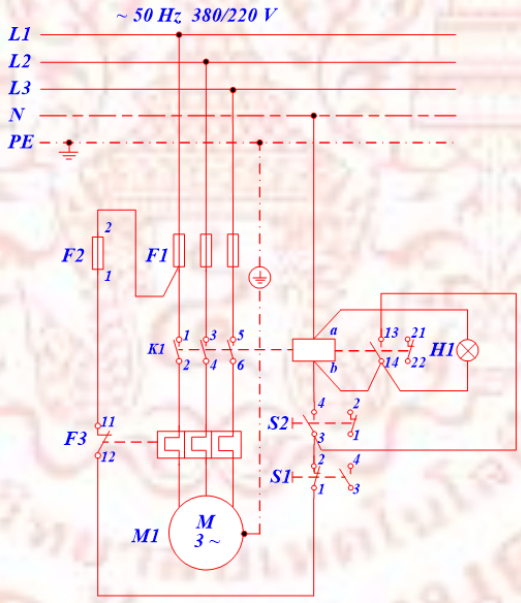
ภาพที่ 2-22 (ต่อ)

2.3.2 แบบวงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

การเขียนแบบสำหรับงานควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า หมายถึง การวางแผนหรือออกแบบวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานได้ตามความต้องการ โดยวิธีการเขียนวงจรหรือผัง (Diagram) หรือการเขียนแบบตามมาตรฐานแบบใดแบบหนึ่ง ซึ่งการเขียนแบบคสบคุมมอเตอร์ สามารถแบ่งออกได้ 4 แบบ

2.3.2.1 แบบงานจริง (Working Diagram)

การเขียนแบบงานจริง จะเขียนเหมือนลักษณะงานจริง ส่วนประกอบของวงจรจะเขียนขึ้นเป็นชิ้นเดียวไม่แยกออกจากกัน ซึ่งการเขียนแบบลักษณะนี้จะแสดงการทำงานทั้งหมดของวงจรกำลัง (Power circuit) และวงจรควบคุม (Control circuit) โดยสามารถแสดงการทำงานของวงจรและความสัมพันธ์ระหว่างวงจร ทั้งสองได้อย่างชัดเจน การเขียนจุดต่อสายต่าง ๆ จะต่อที่จุดเข้าสายของอุปกรณ์เท่านั้น



ภาพที่ 2-23 แบบงานจริง (Working Diagram)

(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 70)

2.3.2.2 แบบแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)

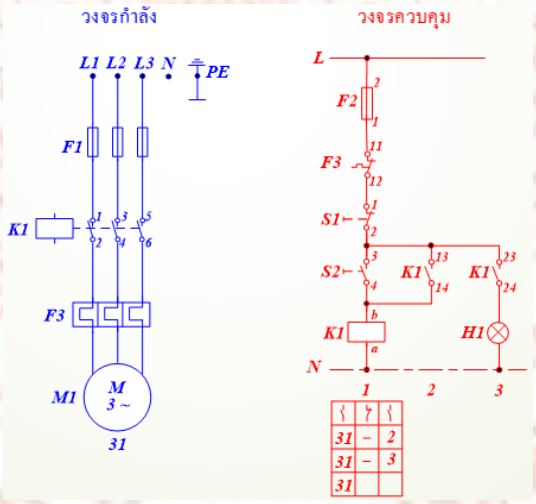
แบบแสดงการทำงาน แบ่งตามลักษณะวงจรได้ 2 แบบ คือ วงจรกำลัง (Power circuit) และวงจรควบคุม (Control circuit)

2.3.2.2.1 แบบแสดงการทำงานของวงจรกำลัง

เป็นวงจรที่แสดงรายละเอียดอุปกรณ์เฉพาะส่วนของวงจรกำลังที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์มาเขียนเท่านั้น โดยปกติจะมีเพียงฟิวส์วงจรกำลัง (F1) คอนแทกเตอร์ (K1) แสดงเฉพาะส่วนของหน้าสัมผัสหลัก (Main contact) โอเวอร์โหลดรีเลย์ (F3) จะไม่เขียนส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary contact) และมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนสายที่ต่อถึงกันจะแสดงด้วยจุดต่อทึบ และจากจุดต่อแต่ละจุดจะลากเพียงเส้นเดียวไปเข้าจุดต่อสายของอุปกรณ์

2.3.2.2.2 แบบแสดงการทำงานของวงจรควบคุม

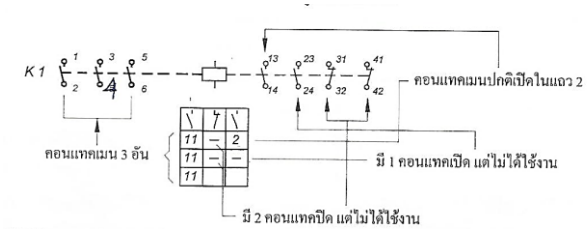
เป็นวงจรแสดงลำดับการทำงานของอุปกรณ์ โดยเริ่มต้นตั้งแต่สายเมนจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ฟิวส์วงจรควบคุม (F2) หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ หน้าสัมผัสของโอเวอร์โหลด (F3) สวิตช์ปุ่มกดปกติปิด (NC) ซึ่งทำหน้าที่หยุดวงจร สวิตช์ปุ่มกดปกติเปิด (NO) ทำหน้าที่สตาร์ทวงจร และเรื่อยลงไปถึงขดลวด (Coil) ของคอนแทกเตอร์ (K1) และเข้าสู่สายนิวทรัล วงจรทั้งหมดนี้ไล่เรียงลำดับกันตั้งแต่บนสุดจนถึงล่างสุด วงจรการทำงานนี้มีประโยชน์มากในการออกแบบการทำงาน และการตรวจสอบการทำงานของวงจร



ภาพที่ 2-24 แบบแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)

(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 71)

Relay table คือ ตารางที่ใช้บอกหน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์ที่ถูกนำมาใช้งาน ว่ามีคอนแทคหลัก หรือคอนแทคช่วย ที่ใช้งานกี่ตัว และอยู่ที่แถวใดบ้าง ตัวเลขที่เขียนอยู่ในตารางแสดงถึงแถวต่าง ๆ ของวงจร เครื่องหมาย – ในตารางแสดงว่าคอนแทคนั้น ไม่ได้ถูกใช้งาน

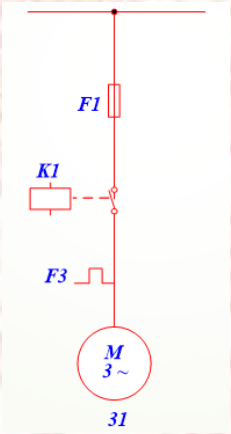


ภาพที่ 2-25 แบบแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)

(**ที่มา :** อำนาจ ทองผาสุก และวิทยา ประยงค์พันธ์, 2540 : 28)

2.3.2.3 แบบสายเดียว (One Line Diagram)

แบบสายเดียวเป็นวงจรการทำงานของวงจรกำลังอีกแบบหนึ่งแต่เขียนวงจรอย่างง่าย ๆ ด้วยสายเส้นเดียว มีจุดประสงค์เพื่อบอกอุปกรณ์หลักที่ใช้ในวงจรกำลัง และบอกจำนวนวงจรกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีอยู่ทั้งหมดในวงจร โดยละเว้นการแสดงวงจรควบคุม ผู้ที่เข้าใจวงจรนี้ได้ต้องเป็นผู้ที่มีความชำนาญเท่านั้น



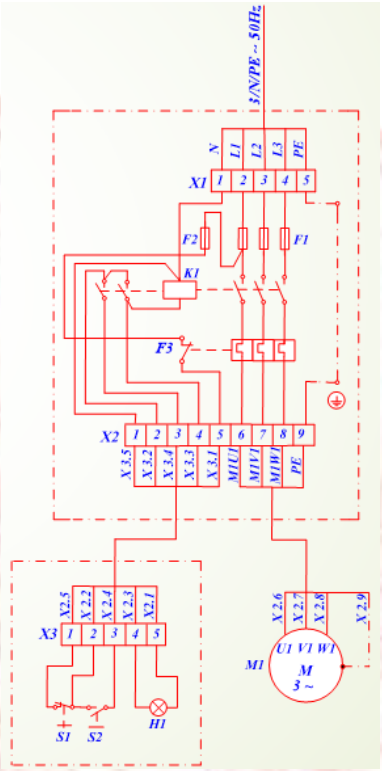
ภาพที่ 2-26 แบบสายเดียว (One Line Diagram)

(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 72)

2.3.2.4 แบบประกอบการติดตั้ง (Constructional Wiring Diagram)

ในการต่อสายระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ประกอบด้วย แผงควบคุม ตู้ติดตั้งอุปกรณ์ และโหลดที่ต้องการควบคุม ซึ่งมักจะแยกกันอยู่ในส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ จะเขียนแสดงรายละเอียดด้วยวงจรงานจริง และประกอบเข้าด้วยกันที่แผงต่อสาย โดยใช้วงจรสายเดียว สายที่ออกจากจุดต่อสายแต่ละ

อันจะมีโค้งกำกับให้รู้ว่าสายนั้นจะไปต่อเข้ากับจุดใด เช่น ที่แผงต่อสาย X2 จุดที่ 1 จะไปต่อกับจุดที่ 5 ของแผงต่อสาย X3 ซึ่งที่จุดนี้ต่อมาจากจุดที่หนึ่ง ของแผงต่อสาย X2



ภาพที่ 2-27 แบบประกอบการติดตั้ง (Constructional Wiring Diagram)

(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 73)

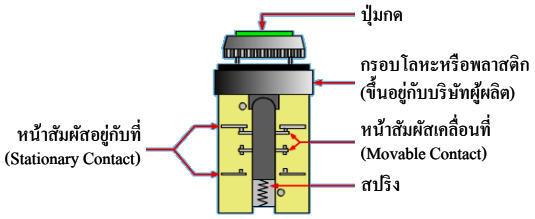
2.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

2.3.3.1 สวิตช์ (Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดต่อกระแสไฟฟ้า สวิตช์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ามีหลายชนิด แต่ละชนิดใช้งานแตกต่างกันไปตามลักษณะงานที่ใช้ควบคุม ดังนี้

2.3.3.1.1 สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุม เพื่อทำหน้าที่เริ่มเดิน หรือสตาร์ท (Start), หยุด (Stop), เดินหน้า (Forward) หรือตามเข็มนาฬิกา และถอยหลัง (Reverse) หรือทวนเข็มนาฬิกา เป็นต้น



ภาพที่ 2-28 โครงสร้างของสวิตช์ปุ่มกด
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 4)

หลักการทำงาน คือ เมื่อกดนิ้วลงไปในปุ่มกด จะทำให้ตำแหน่งของหน้าสัมผัสไปต่อกับหน้าสัมผัสใหม่ เมื่อปล่อยมือที่กดออก หน้าสัมผัสจะกลับสู่ตำแหน่งเดิม สวิตช์ปุ่มกดมีให้เลือกใช้หลายแบบ โดยแบ่งตามลักษณะโครงสร้างและการทำงาน ดังนี้

ก) สวิตช์ปุ่มกดธรรมดา ใช้กับงานเริ่มเดินหรือหยุด โดยทั่วไปมีสองหน้าสัมผัส (Contact) คือ หน้าสัมผัสปกติเปิด (Normal Close) และหน้าสัมผัสปกติปิด (Normal Open)

ภาพที่ 2-29 สวิตช์ปุ่มกดแบบกดติดปล่อยดับ
(**ที่มา :** https://mall.factomart.com/principle-of-push-button-switch)

ข) สวิตช์ปุ่มกดแบบหัวเห็ด (Giant Head) เป็นสวิตช์ปุ่มกดที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบธรรมดาคล้ายดอกเห็ด เพื่อให้มีพื้นที่ในการกดสัมผัสมากขึ้น เหมาะกับงานประเภทสวิตช์ปุ่มฉุกเฉิน (Emergency) ใช้ในกรณีต้องการหยุดวงจรเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

ภาพที่ 2-30 สวิทซ์ฉุกเฉิน (Emergency Stop Switch)
(**ที่มา :** https://my.factomart.com/products/push-button-pilot-lamp-industrial-control-station-equipment/emergency-switch)

2.3.3.1.2 สวิตช์เลือก (Selector Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่ตัดต่อวงจรเพื่อทำหน้าที่เลือกทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า หรือตัดกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่านวงจรตามต้องการ โดยมีโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนเคลื่อนที่เป็นส่วนที่มีหน้าสัมผัสต่อไปยังวงจรภายนอก และรอหน้าสัมผัสเคลื่อนที่มาต่อเพื่อเปลี่ยนหน้าสัมผัส และส่วนอยู่กับที่ เป็นส่วนของหน้าสัมผัสที่จะเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งจากหน้าสัมผัสหนึ่งไปยังหน้าสัมผัสหนึ่ง และต่อไปยังวงจรภายนอกผ่านหน้าสัมผัสอยู่กับที่ โดยทั่วไปแล้วซีเล็คเตอร์สวิทช์จะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สวิทช์ 2 ทาง และ สวิทช์ 3 ทาง

ภาพที่ 2-31 สวิตช์เลือก (Selector Switch)
(**ที่มา :** https://northpower.co.th/pages)

2.2.3.1.3 สวิตช์เลือกแรงดัน (Selector Volt)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับโวลต์มิเตอร์ เพื่อตรวจสอบความสมดุลของแรงดันไฟฟ้า ทำให้ทราบค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสกับเฟส หรือระหว่างเฟสกับนิวทรัล ว่ามีความสมดุลกันหรือไม่

ภาพที่ 2-32 สวิตช์เลือกแรงดัน (Selector Volt)

(**ที่มา :** http://www.praguynakorn.com/product/switches)

2.2.3.1.4 สวิตช์เลือกกระแส (Selector Amp)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับหม้อแปลงกระแส และแอมมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส

ภาพที่ 2-33 สวิตช์เลือกกระแส (Selector Amp)

(**ที่มา :** http://www.praguynakorn.com/section1-1/all-electrical-equipment-control)

2.3.3.2 หลอดไฟสัญญาณ (Pilot Lamp)

หลอดไฟสัญญาณ เป็นหลอดไฟที่ใช้ในการต่อวงจรควบคุม เพื่อแสดงสภาวะการทำงานของวงจร มีหลายสี หลายแบบ การต่อหลอดไฟสัญญาณไม่ควรต่อขนานกับขดลวดของรีเลย์ เนื่องจากขดลวดรีเลย์มีแรงดันสูงขณะ ON-OFF ทำให้อายุการใช้งานของหลอดไฟสัญญาณสั้นลง และเมื่อขดลวดรีเลย์ขาด ทำให้ตรวจพบได้ยาก เนื่องจากอาจจะไปวัดความต้านทานของหลอดไฟสัญญาณแทนได้

หลอดไฟสัญญาณมี 2 ลักษณะ คือ 1) หลอดไฟสัญญาณแบบมีหม้อแปลงแรงดัน 2) หลอดไฟสัญญาณแบบไม่มีหม้อแปลงแรงดัน ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน

ภาพที่ 2-34 หลอดไฟสัญญาณแบบไม่มีหม้อแปลงแรงดัน

(**ที่มา :** https://my.factomart.com/products/push-button-pilot-lamp-)

2.3.3.3 แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor)

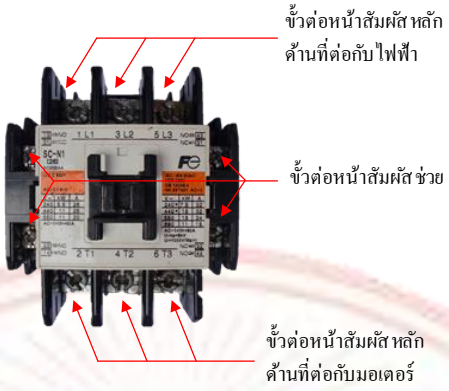
แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ หรือเรียกสั้น ๆ ว่า “คอนแทกเตอร์” หมายถึง สวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็ก ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรไฟฟ้าที่ใช้กระแสค่อนข้างสูง เช่น วงจรกำลังของการควบคุมมอเตอร์ วงจรไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น

2.3.3.3.1 หน้าสัมผัสหลัก (Main Contacts)

หน้าสัมผัสหลักของคอนแทกเตอร์ โดยทั่วไปจะเป็นชนิดปกติเปิดมี 3 ชุด สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ไปยังโหลดหรือมอเตอร์ หน้าสัมผัสหลักของคอนแทกเตอร์มีขนาดใหญ่ทนกระแสได้สูง ในการบอกขนาดของคอนแทกเตอร์จึงบอกขนาดด้วยกระแสที่หน้าสัมผัสหลักสามารถจ่ายได้นั้นเอง

2.3.3.3.2 หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contact)

หน้าสัมผัสช่วยของคอนแทกเตอร์มีขนาดเล็กกว่า ทนกระแสได้น้อย ทำหน้าที่ช่วยในการทำงานของวงจรควบคุม เช่น เป็นหน้าสัมผัสที่ทำให้คอนแทกเตอร์สามารถทำงานได้ตลอดเวลา เรียกว่า โฮลดิ้ง (Holding) โดยการต่อใช้งานหน้าสัมผัสช่วย แบบปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ตัวนั้นต่อขนานเข้ากับหน้าสัมผัสเปิดของสวิตช์ที่จ่ายกระแสไฟ หรือควบคุมให้คอนแทกเตอร์ตัวนั้นทำงาน หรือใช้เพื่อควบคุมให้คอนแทกเตอร์ตัวอื่นทำงาน หรือหยุดทำงาน เรียกว่า อินเตอร์ล็อค (Interlock) โดยการต่อใช้งานหน้าสัมผัสช่วยแบบปิดของคอนแทกเตอร์ตัวแรก อนุกรมเข้ากับขดลวดสนามแม่เหล็กของคอนแทกเตอร์อีกตัวที่ต้องการให้หยุดทำงาน เมื่อคอนแทกเตอร์ตัวแรกทำงาน หรือต่อหนาสัมผัสช่วยแบบปกติเปิด อนุกรมเข้ากับสนามแม่เหล็กของคอนแทกเตอร์อีกตัวที่ต้องการให้ทำงานพร้อมกัน



ภาพที่ 2-35 หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์

(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 11)

2.3.3.3.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Coil)

ขดลวดสนามแม่เหล็ก ของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ หรือเรียกสั้น ๆ ว่า “คอยล์” ประกอบด้วยขดลวดจำนวนหลายรอบพันอยู่บนฟอร์มคอยล์ แล้วสวมไว้กับแกนเหล็กชุดอยู่กับที่เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดการทำงานของหน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์ มีทั้งชนิดที่ทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ

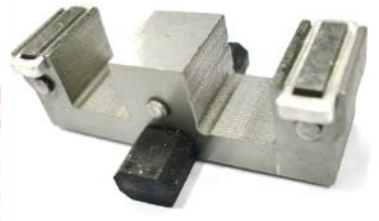
ภาพที่ 2-36 ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Coil)

(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 12)

2.3.3.3.4 แกนเหล็ก (Iron Core)

ใช้แผ่นเหล็กอ่อนบาง (Laminated Sheet Steel) รูปตัว E ผิวเคลือบฉนวนเพื่อป้องกันกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy Current) อันเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนขึ้นที่แกนเหล็ก และเกิดการสูญเสียพลังงาน แผ่นเหล็กจะถูกอัดกันเป็นชั้นๆ กลายเป็นแกนเหล็ก เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) ทำให้เกิดการสั่นขึ้น ตามจังหวะการขึ้นลง

ของสนามแม่เหล็ก ซึ่งก็คือตามการเกิดของคลื่อนไซน์ จึงได้ฝังขดลวดวงแหวน(Shaded Ring) ที่แกนเหล็ก เพื่อลดการสั่นที่เกิดจากการเกิดคลื่นไซน์ที่แกนเหล็ก



ภาพที่ 2-37 แกนเหล็ก (Iron Core)
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 12)

2.3.3.3.5 การแบ่งชนิดหน้าสัมผัสตามการใช้งาน

หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์จะถูกออกแบบให้เหมาะสม กับลักษณะของกระแสที่ไหลไปยังโหลดและการใช้งาน ตามมาตรฐาน IEC แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือลักษณะของภาระไฟฟ้า คือ AC 1, AC 2, AC 3 และ AC 4 ดังนี้

ก) AC 1 ใช้สำหรับภาระไฟฟ้าประเภทความต้านทาน

ข) AC 2 ใช้สำหรับภาระไฟฟ้าประเภทขดลวด จึงเหมาะที่จะใช้กับมอเตอร์โรเตอร์แบบพันขดลวดซึ่งกินกระแสไฟฟ้าเริ่มเดินประมาณ 2.5 เท่า

ค) AC 3 ใช้สำหรับมอเตอร์ทั่วไป จึงเหมาะสมที่จะใช้กับมอเตอร์โรเตอร์แบบกรงกระรอกซึ่งกินกระแสไฟฟ้าเริ่มเดินประมาณ 5-7 เท่า หรือใช้กับมอเตอร์โรเตอร์แบบพันขดลวดก็ได้

ง) AC 4 ใช้สำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานเป็นช่วงสั้น ๆ

หมายเหตุ AC หมายถึง หน้าสัมผัสที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)

2.3.3.4 รีเลย์ (Relay)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในวงจรควบคุมอัตโนมัติ ใช้ในการเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้อำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้วงจรไฟฟ้าทำงาน รีเลย์มีส่วนประกอบสำคัญ คือ ขดลวด และส่วนของหน้าสัมผัสทำหน้าที่คล้ายสวิตช์ กล่าวคือ เมื่อรีเลย์ได้รับการจ่ายไฟแล้วจะทำให้หน้าสัมผัสติดกันกลายเป็นวงจรปิด ถ้าไม่จ่ายไฟหน้าสัมผัสจะแยกออกจากกันกลายเป็นวงจรเปิดรีเลย์ถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องจักรต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานของกระแสไฟฟ้า ช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นและป้องกันไม่ให้มีการทำงานผิดปกติ

ภาพที่ 2-38 เพาเวอร์รีเลย์ (Power Relay)
(**ที่มา :** https://misumitechnical.com/technical/electrical/relay-working-principles/)

2.3.3.5 รีเลย์หน่วงเวลา (Timer Relay Delay)

รีเลย์หน่วงเวลา หรือไทม์เมอร์ เป็นรีเลย์ที่ใช้ในวงจรควบคุมอีกชนิดหนึ่ง แต่สามารถปรับตั้งเวลาทำงานของหน้าสัมผัสได้ รีเลย์หน่วงเวลาแบ่งออกตามลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมได้หลายชนิด เช่น รีเลย์หน่วงเวลาทำงานโดยอาศัยระบบทางกล รีเลย์หน่วงเวลาทำงานโดยอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และรีเลย์หน่วงเวลาทำงานโดยอาศัยแรงขับของมอเตอร์ แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะนิยมใช้รีเลย์หน่วงเวลาแบบ อิเล็กทรอนิกส์รีเลย์ที่สามารถตั้งเวลาการทำงานของหน้าสัมผัสได้มีหลายชนิดที่นิยมนำมาใช้งานโดยส่วนมากจะแบ่งตามลักษณะการทำงานของหน้าสัมผัสเป็น 2 แบบ คือ

ก) หน่วงเวลาหลังจากจ่ายไฟเข้า (On-Delay) เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์หน่วงเวลา หน้าสัมผัสจะอยู่ในตำแหน่งเดิมก่อน เมื่อครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้แล้ว หน้าสัมผัสจึงจะเปลี่ยนไปเป็นสภาวะตรงข้ามและจะค้างอยู่ในตำแหน่งนั้นจนกว่าจะหยุดการจ่ายไฟให้กับรีเลย์ หน้าสัมผัสจึงจะกลับสู่สภาพเดิม

ข) หน่วงเวลาหลังจากตัดไฟออก (Off-Delay) เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์หน่วงเวลา หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนไปเป็นสภาวะตรงกันข้ามทันที หลังจากหยุดจ่ายไฟให้กับรีเลย์แล้วจึงเริ่มหน่วงเวลา เมื่อครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ หน้าสัมผัสจะกลับสู่สภาพเดิม

อักษรกำกับอุปกรณ์สำหรับรีเลย์หน่วงเวลา สัญลักษณ์มาตรฐาน IEC จะมีตัวอักษร T ต่อท้าย เช่น K4T หรือ KST เป็นต้น

ภาพที่ 2-39 รีเลย์หน่วงเวลา (Timer Relay Delay)
(**ที่มา :** https://mall.factomart.com/principle-of-timer-relay/)

2.3.3.6 รีเลย์โหลดเกิน (Overload Reley)

รีเลย์โหลดเกิน หรือโอเวอร์โหลดรีเลย์ เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันไม่ให้มอเตอร์ทำงานเกินกำลังหรือป้องกันไม่ให้มอเตอร์เสียหายเนื่องจากการใช้กระแสไฟฟ้าเกินพิกัด หากกระแสไฟฟ้าไหลเกินกว่าพิกัดจะทำให้ขดลวดภายในมอเตอร์ร้อนขึ้นเรื่อย ๆ และไหม้ในที่สุด แต่ถ้าภายในวงจรมีรีเลย์โหลดเกินต่อไว้ และปรับตั้งขนาดพิกัดกระแสให้ถูกต้อง รีเลย์โหลดเกินจะทำหน้าที่ตัดวงจรควบคุมมอเตอร์ออกไปก่อนที่มอเตอร์จะไหม้

โครงสร้าง และหลักการทำงานของรีเลย์โหลดเกินที่จะกล่าวต่อไปเป็นรีเลย์โหลดเกินที่ทำงานโดยอาศัยผลของความร้อน จึงเรียกกันทั่วไปว่า เทอร์มอลโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Thermal Overload Relay) โครงสร้างภายในประกอบด้วยขดลวดความร้อน ซึ่งพันรอบแผ่นโลหะไบเมทอล โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านภาระไฟฟ้าเป็นตัวควบคุม เมื่อแผ่นโลหะไบเมทอลร้อน จะโค้งงอไปดันคานส่ง (ทำด้วยวัสดุทนความร้อน และเป็นฉนวนไฟฟ้า) เคลื่อนที่ไปดันหน้าสัมผัสของรีเลย์โหลดเกินในวงจรควบคุมให้เปิดวงจร

รีเลย์โหลดเกินจะถูกออกแบบไว้เป็น 2 ลักษณะ คือ

ก) แบบไม่มีปุ่มปรับตั้งใหม่ (No Reset) หรือแบบธรรมดา เมื่อเกิดโอเวอร์โหลด แผ่นไบเมทอลร้อนจะโค้งงอไปดันคานส่งทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนตำแหน่ง และจะกลับมาอยู่ในสภาพเดิมเมื่อแผ่นไบเมทอลเย็นตัวลง

ข) แบบมีปุ่มปรับตั้งใหม่ (Reset) เมื่อเกิดโอเวอร์โหลด แผ่นไบเมทอลร้อนจะโค้งงอไปดันคานส่งทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนตำแหน่ง หน้าสัมผัสจะถูกล็อคไว้ หากต้องการให้หน้าสัมผัสกลับคืนสู่สภาวะปกติทำได้โดยกดปุ่มปรับตั้งใหม่ แบบนี้นิยมใช้ในการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

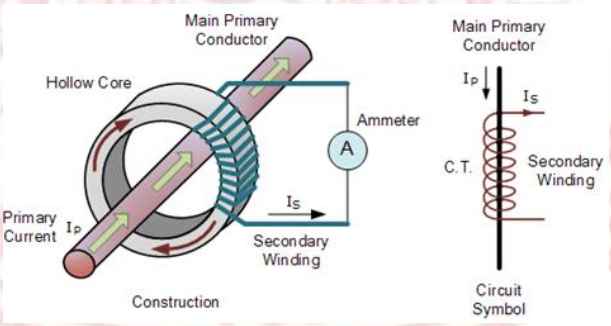
ภาพที่ 2-40 รีเลย์โหลดเกิน (Overload Reley)

(**ที่มา :** https://www.iotechmall.com/what-is-a-overload-relay/)

2.3.3.7 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

หม้อแปลงกระแส คือ อุปกรณ์ทำหน้าที่ลดกระแสที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ง่ายและปลอดภัยต่อการใช้งานในระบบไฟฟ้า ความแตกต่างระหว่างหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) และหม้อแปลงวัดกระแส (CT, Current Transformer) คือ ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (Primary) ของ CT จะมีเพียงรอบเดียว

2.3.3.7.1 หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแส



ภาพที่ 2-41 หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแส

(**ที่มา :** https://pmk.co.th/shop/ct-% -measuring-current-transformer)

จากรูปด้านบนจะเห็นว่า ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (Primary) มีสายไฟหรือบัสบาร์ ผ่านแกนของ CT เพียงเส้นเดียว หมายความว่า CT วัดกระแส (หม้อแปลงวัดกระแส) หนึ่งตัวจะใช้งานได้

ต่อโหลดได้ 1 ตัวต่อเฟส ในส่วนของขดทางด้านทุติยภูมิ (Secondary) จะมีจำนวนรอบของขดลวดมากกว่าด้านเข้า

แกนรูปโดนัทของหม้อแปลงวัดกระแส (CT) ทำมาจากเหล็กที่มีความสูญเสียต่ำ ซึ่งคุณภาพของวัสดุที่นำมาทำแกนของ CT มีความสำคัญมากเนื่องจากมันมีผลกระทบกับประสิทธิภาพ และค่าความแม่นยำของตัว CT เอง การทำงานของหม้อแปลงกระแสอาศัยหลักการลดกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตแบบสัดส่วน (Ratio) โดยการเอาสายตัวนำ หรือบัสบาร์ เป็นขดลวดทางด้านปฐมภูมิ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในแกนของ CT และมีกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิ

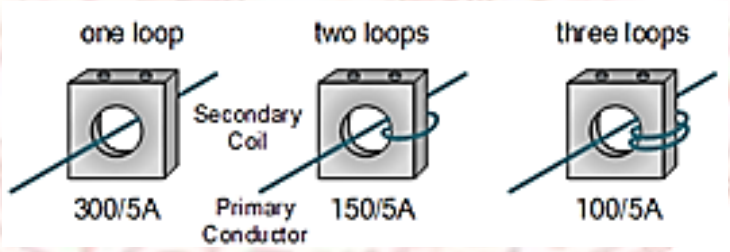
2.3.3.7.2 การเปลี่ยนอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส

ถ้าหากเรามีหม้อแปลงวัดกระแส (CT) ที่มีขนาดกระแสทางด้านปฐมภูมิ สูงกว่ากระแสใช้งาน เราสามารถเปลี่ยนอัตราส่วนของ CT ด้วยการเพิ่มขดลวดของขดลวดปฐมภูมิ จากรูปภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อเราใช้หม้อแปลงวัดกระแส (CT) ขนาด 300/5 แต่ถ้าเราเพิ่มจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิของ CT จะทำให้ อัตราส่วนของ CT เปลี่ยนไป 150/5 , 100/5 ตามลำดับ สามารถใช้สมการอธิบายได้ดังนี้

ค่ากระแสด้านปฐมภูมิเก่า/ ค่ากระแสด้านปฐมภูมิที่ต้องการ. = จำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ

300A/150A = 2 รอบ

300A/100A = 3 รอบ



ภาพที่ 2-42 การเปลี่ยนอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส

(**ที่มา :** https://pmk.co.th/shop/ct-% -measuring-current-transformer)

2.3.3.7.3 ข้อควรระวังของหม้อแปลงกระแส

ไม่ว่ากรณีใด ๆถ้าหากมีกระแสไหลทางด้านปฐมภูมิ ไม่ควรให้ขดลวดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงวัดกระแส (CT) เปิดวงจร เนื่องจากตอนปิดวงจร จะมีอิมพีแดนซ์ (Impedance) ประมาณ 0.2 ohm แรงดันประมาณ 1 Volt แต่ถ้า CT เปิดวงจรจะทำให้มีอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ (Infinity)

เมื่อนำมาหาแรงดันเอาต์พุตที่กระแส 5A จะเกิดแรงดันสูงระดับ กิโลโวลต์ (kV) จนฉนวนละลายและทำให้ CT เสียหาย

2.3.3.7.4 การติดตั้ง (Installation)

การต่อสายไฟของการวัดการใช้พลังงาน ด้านปฐมภูมิต้องต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายจากด้าน P1 ออก P2 แล้วออกไปหาโหลด ส่วนด้านทุติยภูมิต่อ S1 เข้ากับขั้วที่มีความเป็นบวกมากที่สุด S2 ต่อเข้ากับขั้วลบ ของอุปกรณ์ที่นำมาต่อร่วม เช่น มิเตอร์, ทรานสดิวเซอร์ ตรวจสอบลำดับเฟสให้ถูกต้อง ถ้าหากลำดับเฟสผิดจะทำให้การวัดค่าพลังงานผิดพลาด และควรต่อขั้ว S2 ลงกราวด์ของระบบ

2.3.3.8 รีเลย์ป้องกันมอเตอร์ (Motor Protection Reley)

รีเลย์ป้องกันมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของระบบผิดปกติ ซึ่งมีการป้องกันหลายอย่าง เช่น ป้องกันเฟสขาดหาย ป้องกันไฟฟ้าสลับเฟส ป้องกันแรงดันไฟฟ้าต่ำหรือสูงกว่าปกติ ป้องกันเฟสไม่สมดุล และป้องกันการลัดวงจรลงดิน โดยกำหนดเป็นอักษรย่อ ดังนี้

O.V.	หมายถึง	แรงดันไฟฟ้าเกิน (Over Voltage)
U.V.	หมายถึง	แรงดันไฟฟ้าขาด (Under Voltage)
U.B.	หมายถึง	แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเฟส (Unbalance Voltage)
Time Delay	หมายถึง	การหน่วงเวลา

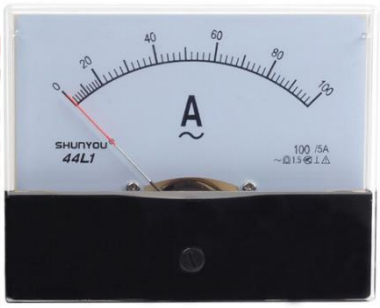
ภาพที่ 2-43 การเปลี่ยนอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส

(**ที่มา :** https://www.redtecevolution.co.th/17800994/protection-relays)

2.3.3.9 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter)

เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า หรือแอมมิเตอร์ (Ammeter) เป็นเครื่องวัดที่ใช้ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจรไฟฟ้า การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจร ไฟฟ้า เหมือนกับการวัด

กระแสน้ำที่ไหลผ่านไปในท่อน้ำการวัด ดังกล่าวต้องตัดวงจรออก เพื่อต่อแอมมิเตอร์เข้าไป กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านแอมมิเตอร์ เพื่อบอกปริมาณของกระแส ไฟฟ้าการต่อแอมมิเตอร์ต้องต่ออนุกรมกับวงจร



ภาพที่ 2-44 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter)
(**ที่มา :** https://pantip.com/topic/36846522/desktop)

2.3.3.10 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Volt Meter)

โวลต์มิเตอร์ คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุด ในวงจรความต้านทานภายในของเครื่องโวลต์มิเตอร์มีค่าสูง วิธีใช้ต้องต่อขนานกับวงจร เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้า ค่าที่วัดได้มีหน่วย โวลต์

โวลต์มิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ดัดแปลงมากจากแกลแวนอมิเตอร์ โดยต่อความต้านทานแบบอนุกรม (Rx) กับแกลแวนอมิเตอร์ และใช้วัดความต่างศักย์ในวงจรโดยต่อแบบขนานกับวงจรที่ต้องการวัด

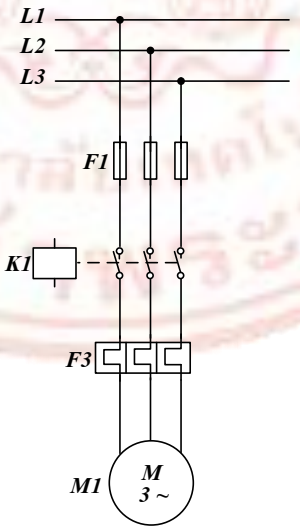
โวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าหรือแรงดันตกคร่อม) ระหว่าง จุดสองจุด ในวงจร ความจริงแล้วโวลต์มิเตอร์ก็คือแอมมิเตอร์นั่นเอง เพราะขณะวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร หรือแหล่ง จ่ายแรงดันจะต้องมี กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์จึงทำให้เข็มมิเตอร์บ่ายเบนไป และการที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์ได้ ก็ต้องมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามานั่นเองกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน กระแสไฟฟ้าไหลได้มากน้อยถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ามาน้อย กระแสไฟฟ้าไหลน้อย เข็มชี้บ่ายเบนไปน้อยถ้าจ่าย แรงดันไฟฟ้าเข้ามามาก กระแสไฟฟ้าไหลมาก เข็มชี้บ่ายเบนไปมาก

ภาพที่ 2-45 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter)
(**ที่มา :** https://www.thaiwatsadu.com/th/product)

2.3.4 วงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

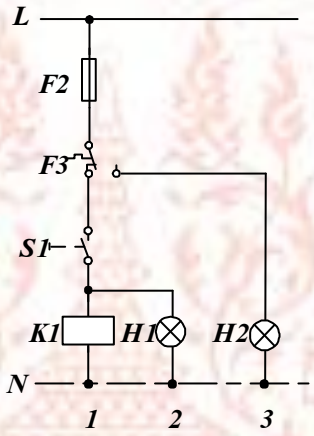
2.3.4.1 วงจรควบคุมสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง (Direct Start)

การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการต่อโดยตรงกับแหล่งจ่าย (Direct On Line Starter : DOL) การเริ่มเดินแบบนี้ แรงบิดเริ่มเดิน (Stating Torque) จะสูงประมาณ 1.5 เท่า ของแรงบิดเต็มพิกัด แต่กระแสเริ่มเดิน (Starting Current) จะสูงประมาณ 4-7 เท่าของกระแสเต็มพิกัด จึงเหมาะสำหรับการเริ่มเดินมอเตอร์ที่มีขนาดไม่เกิน 7.5 แรงม้า (Horse Power : HP) เนื่องจากจะเกิดแรงดันไฟฟ้าตก หรือไฟกะพริบขณะเริ่มเดินมอเตอร์ และมอเตอร์ที่เริ่มเดินแบบนี้ควรเป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วเดียว



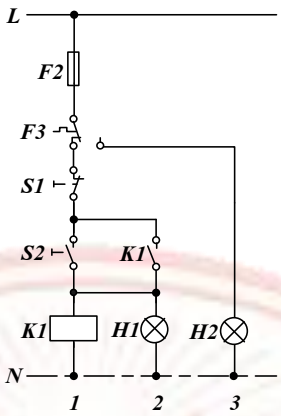
ภาพที่ 2-46 วงจรกำลังการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 143)

จากภาพที่ 2-46 วงจรกำลังการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง (Direct Start) ประกอบด้วย ฟิวส์กำลัง F1 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสลัดวงจรของสายเมน หน้าสัมผัสหลักของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์ โอเวอร์โหลดรีเลย์ F3 ทำหน้าที่ป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลเกินก่อนที่มอเตอร์จะไหม้ และมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอก M1 ทำหน้าที่เป็นโหลดในวงจร โดยลักษณะของวงจรกำลัง



ภาพที่ 2-47 วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง แบบ Jogging
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 145)

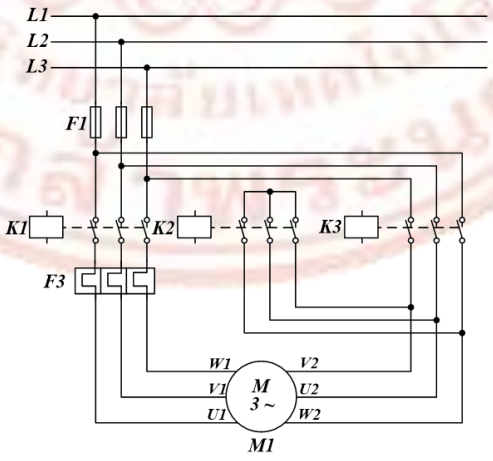
จากภาพที่ 2-47 วงจรควบคุมแบบทำงานชั่วขณะ (Jogging) เป็นการควบคุมให้มอเตอร์ทำงานชั่วขณะ หรือหมุนในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยการกดสวิตช์ปุ่มกด S1 ค้างไว้ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอยล์คอนแทกเตอร์ K1 ครบวงจรกับสายนิวทรัล เมื่อคอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน จึงทำให้หน้าสัมผัสหลักในวงจรกำลัง ต่อวงจรให้มอเตอร์เริ่มหมุนพร้อมกับหลอดสัญญาณ H1 ในแถวที่ 2 สว่างจนกระทั่งปล่อยมือออกจากสวิตช์ปุ่มกด S1 จะเปิดวงจรออกเป็นการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากคอยล์ K1 ในแถวที่ 1 ดังนั้น มอเตอร์จึงหยุดหมุน ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนอีก ต้องกดสวิตช์ปุ่มกด S1 ค้างไว้เหมือนเดิม และหากกระแสไฟฟ้าไหลเกิน จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ คือ โอเวอร์โหลดรีเลย์ F3 ตัดวงจรมอเตอร์ออกจากแหล่งจ่ายไฟทันที พร้อมกับต่อวงจรให้หลอดสัญญาณ H2 ในแถวที่ 3 สว่างทันที



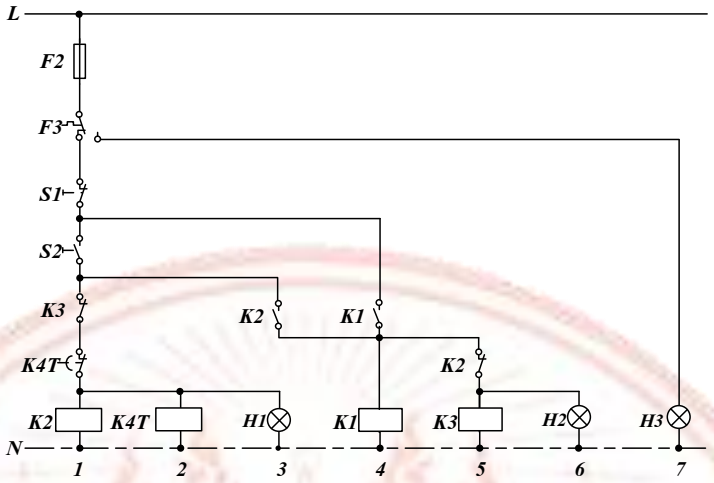
ภาพที่ 2-48 วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 145)

สำหรับวงจรควบคุมภาพที่ 2-48 วงจรควบคุมแบบใช้หน้าสัมผัสช่วยเพื่อล็อคตัวเองให้ทำงานตลอดเวลา เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกดเริ่มหมุน S2 จะทำให้คอยล์ คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน มอเตอร์เริ่มหมุนขณะเดียวกันหน้าสัมผัสช่วยปกติเปิด K1 ในแถวที่ 2 จะเปลี่ยนสภาวะล็อคการทำงานของตัวเองต่อวงจรตลอดเวลา แม้ว่าจะปล่อยมือออกจากสวิตช์ปุ่มกด S2 แล้วก็ตาม มอเตอร์ก็ยังคงหมุนอยู่เช่นเดิมจนกว่าจะกดสวิตช์ปุ่มกดหยุด S1 จะเป็นการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากคอยล์ K1 มอเตอร์จึงหยุดหมุน หน้าสัมผัสช่วยปกติเปิด K1 ในแถวที่ 2 จะเปิดวงจรค้างไว้ เป็นการกลับสู่สภาวะเริ่มต้นใหม่

2.3.4.2 วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star-Delta)



ภาพที่ 2-49 วงจรกำลังการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ - เดลต้า
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 151)



ภาพที่ 2-50 วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ – เดลต้า แบบอัตโนมัติ
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 153)

การเริ่มเดินมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ควบคุมอัตโนมัติ การควบคุมอัตโนมัติจะใช้รีเลย์หน่วงเวลา เป็นอุปกรณ์ช่วยในการนับเวลาของการต่อขดลวดจากแบบสตาร์ไปเป็นแบบเดลต้า ทำให้การเริ่มเดินแบบสตาร์-เดลต้าถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับตั้งเวลานั่นเอง ซึ่งมอเตอร์แต่ละขนาดจะใช้เวลาการหน่วงเวลาไม่เท่ากัน

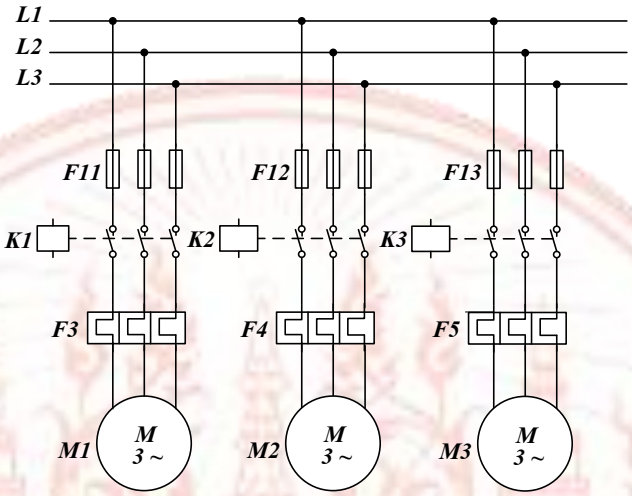
จากภาพที่ 2-50 เป็นวงจรเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า ควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ และรีเลย์หน่วงเวลา มีลำดับขั้นการทำงาน ดังนี้

1) กดสวิตช์ปุ่มกด 52 จะทำให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2 และรีเลย์หน่วงเวลา K4T ทำงาน หน้าสัมผัสปกติปิดของ K2 ในแถวที่ 5 จะตัดวงจรแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K3 และหน้าสัมผัสปกติเปิดของ K2 ในแถวที่ 2 จะต่อวงจรให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน ทำให้หน้าสัมผัสปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 4 ต่อวงจรตลอดเวลา และเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าไปยังแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2 (แถวที่ 1) และ K1 (แถวที่ 4) แม้ว่าจะปล่อยมือจากการกดสวิตช์ปุ่มกด S2 แล้วก็ตาม ขณะนี้มอเตอร์จะหมุนแบบสตาร์ (K2, K1 ทำงาน)

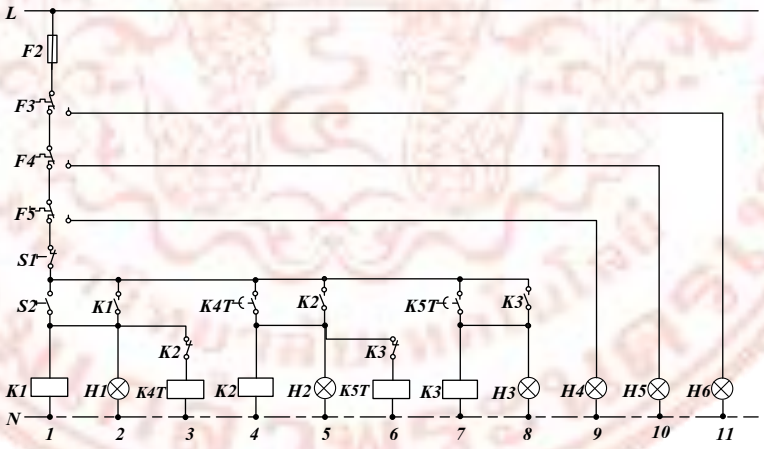
2) เมื่อรีเลย์หน่วงเวลาถึงเวลาที่กำหนดไว้ หน้าสัมผัสปกติปิดของ K4T ในแถวที่ 1 จะตัดวงจรแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2 และรีเลย์หน่วงเวลา KAT ออก ทำให้หน้าสัมผัสปกติปิดของ K2 ในแถวที่ 5 กลับสู่สภาวะปกติ ต่อวงจรให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K3 ทำงาน ขณะเดียวกันหน้าสัมผัสปกติปิดของ K3 ในแถวที่ 1 จะตัดวงจรของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2 และรีเลย์หน่วงเวลา K4T (แถวที่ 2) ขณะนี้มอเตอร์ จะหมุนแบบเดลต้า (K1, K3 ทำงาน)

3) เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด S1 จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

2.3.4.3 วงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน อัตโนมัติ (Automatic Sequence)



ภาพที่ 2-51 วงจรกำลังควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 160)



ภาพที่ 2-52 วงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน แบบอัตโนมัติ
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 163)

การควบคุมมอเตอร์ทำงานเรียงลำดับควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Sequence Control) ดังภาพที่ 2-56 เป็นวงจรควบคุมการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้าแบบทำงานเรียงลำดับ โดยอัตโนมัติควบคุมให้มอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) จะทำงานก่อน จากนั้นรอเวลาให้มอเตอร์ตัวที่ 2 (M2) และมอเตอร์ตัวที่ 3

(M3) ทำงานตามลำดับโดยอัตโนมัติ ซึ่งอาศัยหน้าสัมผัสของรีเลย์หน่วงเวลาเป็นตัวช่วย โดยมีลำดับขั้นการทำงาน ดังนี้

1) กดสวิตช์ปุ่มกด S2 จะทำให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 และรีเลย์หน่วงเวลา KAT ทำงาน เริ่มนับเวลาตามที่ตั้งไว้ โดยที่หน้าสัมผัสปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ K1 ในแถวที่ 2 จะล็อคให้ตัวเองทำงานตลอดเวลา

2) เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ หน้าสัมผัสปกติเปิดของรีเลย์หน่วงเวลา K4T ในแถวที่ 4 จะต่อวงจรให้คอยล์แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2 และรีเลย์หน่วงเวลา K5T ทำงานเริ่มนับเวลาตามที่ตั้งไว้ โดยที่หน้าสัมผัสปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ K2 ในแถวที่ 5 จะล็อคให้ตัวเองทำงานตลอดเวลา

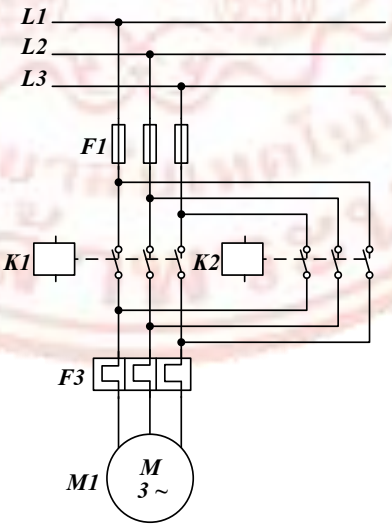
3) เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ หน้าสัมผัสปกติเปิดของรีเลย์หน่วงเวลา K5T ในแถวที่ 7 จะต่อวงจรให้คอยล์แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K3 ทำงาน โดยที่หน้าสัมผัสปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ K3 ในแถวที่ 8 จะล็อคให้ตัวเองทำงานตลอดเวลา

4) ขณะนี้มอเตอร์ M1, M2 และ M3 กำลังทำงาน

5) เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด S1 จะทำให้มอเตอร์ทุกตัวหยุดหมุน

2.3.4.4 การกลับทางหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์

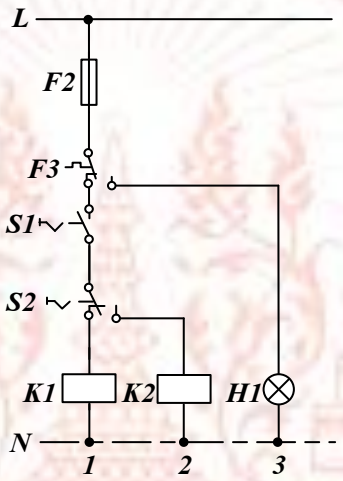
การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ มีหลายลักษณะตามเงื่อนไขการควบคุมวงจร แต่วงจรกำลังจะเป็นตามภาพที่ 2-53 โดยจะใช้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ จำนวน 2 ตัว แต่ละตัวต้องทำงานไม่พร้อมกัน (ทำงานสลับกัน) หากทำงานพร้อมกันจะเกิดการลัดวงจร (Short Circuit) ระหว่างเฟสที่สลับสายในวงจรกำลัง



ภาพที่ 2-53 วงจรกำลังการกลับทางหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 196)

2.3.4.5 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch

การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ แบบใช้สวิตช์เลือกปรับได้ 2 ทาง เป็นวงจรควบคุมการกลับทางหมุนอย่างง่าย การบังคับให้คอยล์ของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 หรือ K2 ทำงานนั้น สามารถเลือกได้ที่สวิตช์ S2 ซึ่งเป็นสวิตช์เลือกปรับได้ 2 ทาง โดยเป็นการกลับทางหมุนแบบทันทีทันใด ดังภาพที่ 2-54



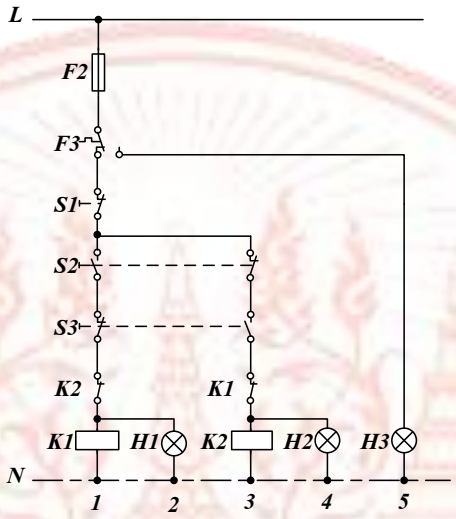
ภาพที่ 2-54 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 197)

2.3.4.6 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing)

การควบคุมการกลับทางหมุนแบบทำงานชั่วขณะ เป็นการควบคุมให้มอเตอร์ไฟฟ้ากลับทางหมุนในระยะเวลาสั้น ๆ คือ สามารถกลับทางหมุนได้โดยใช้สวิตช์ปุ่มกดเพียง 2 ตัว โดยจะกำหนดว่าสวิตช์ตัวใดควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และตัวใดควบคุมให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยจะใช้หน้าสัมผัส ที่มีความสัมพันธ์กันหรือที่เรียกว่า อินเตอร์ล็อคคอนแทก (Interlock Contact) ตัดวงจรส่วนอื่นออกไม่ให้ทำงานได้ เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด ดังภาพที่ 2-55

จากภาพที่ 2-55 เมื่อกดสวิตช์ปุ่มด S2 จะทำให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน และหน้าสัมผัสปกติปิดของ S2 ในแถวที่ 3 จะเปิดออก เพื่อป้องกันไม่ให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2 ทำงานทำนองเดียวกันเมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด S3 จะทำให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2 ทำงาน หน้าสัมผัสปกติปิดของ S3 ในแถวที่ 1 จะเปิดออก เป็นการป้องกันไม่ให้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน

จากที่กล่าวมาข้างต้น อินเตอร์ล็อคคอนแทก หมายถึง หน้าสัมผัสที่ทำงานไปแล้วจะส่งผลให้วงจรส่วนอื่น ๆ ไม่สามารถทำงานได้ ได้แก่ หน้าสัมผัสปกติปิดของ S2, S3 และหน้าสัมผัส ปกติปิดของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K1 และแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ K2



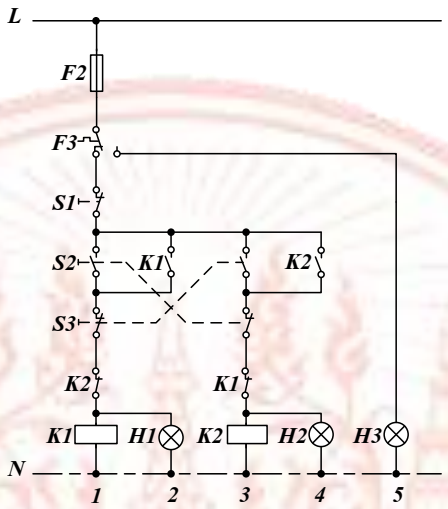
ภาพที่ 2-55 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing)
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 198)

2.3.4.7 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plugging Reversing)

การควบคุมการกลับทางหมุนแบบกลับทางหมุนทันทีทันใด เป็นการควบคุมให้มอเตอร์ไฟฟ้ากลับทางหมุนโดยอาศัยอินเตอร์ล็อคคอนแทกของสวิตช์ปุ่มกด อนุกรมกับขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ แบบนี้จะสามารถทำงานต่อเนื่อง คือสามารถกลับทางหมุนในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ายังทำงานอยู่ โดยการกดสวิตช์ปุ่มกด S2 หรือ S3 ดังภาพที่ 2-56

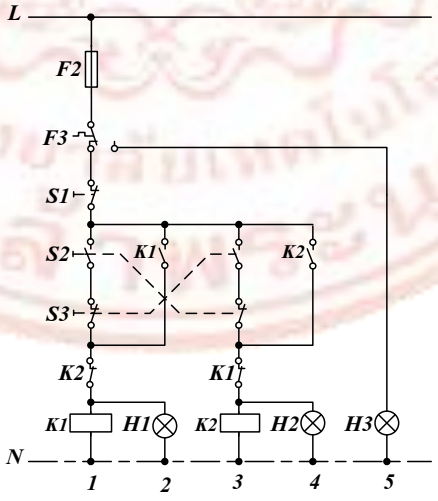
จากภาพที่ 2-56 เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด S2 ทำให้คอยล์คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน หน้าสัมผัสปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ K1 ในแถวที่ 2 จะล็อคตัวเองไว้ตลอดเวลา ขณะนี้มอเตอร์จะหมุนในทิศทางใดทิศทางหนึ่งพร้อมกันนี้ หน้าสัมผัสปกติปิดของคอนแทกเตอร์ K1 ในแถวที่ 3 จะเปิดออก ป้องกันไม่ให้คอยล์คอนแทกเตอร์ K2 ทำงาน ต่อมาเมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด S3 จะเป็นการตัดวงจรคอยล์ของคอนแทกเตอร์ K1 แต่จะต่อวงจรให้คอยล์คอนแทกเตอร์ K2 ทำงาน หน้าสัมผัสปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ K2 ในแถวที่ 4 จะล็อคตัวเองไว้ตลอดเวลา ขณะนี้มอเตอร์จะหมุนกลับทางกับตอนแรกทันที พร้อมกันนี้หน้าสัมผัสปกติปิดของคอนแทกเตอร์ K2 ในแถวที่ 1 จะเปิดออกป้องกันไม่ให้คอยล์คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน ดังนั้น การกดสวิตช์ปุ่มกด S2 หรือ S3 จึงเป็นการสั่งให้คอยล์คอนแทกเตอร์ K1 หรือคอยล์

คอนแทกเตอร์ K2 ทำงานสลับกันคนละเวลา และจะเรียกหน้าสัมผัสปกติปิดของคอนแทกเตอร์ K1 ในแถวที่ 3 และปกติปิดของคอนแทกเตอร์ K2 ในแถวที่ 1 ว่าเป็น อินเตอร์ล็อคคอนแทกนั่นเอง



ภาพที่ 2-56 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plugging Reversing)
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 199)

2.3.4.8 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส หลังจากหยุด (After Stop)
การควบคุมการกลับทางหมุนแบบกลับทางหมุนหลังจากหยุด โดยการกดสวิตช์ S2 หรือ S3



ภาพที่ 2-57 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส หลังจากหยุด (After Stop)
(**ที่มา :** ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน, 2563 : 200)

จากภาพที่ 2-57 การควบคุมแบบนี้จะไม่สามารถกลับทางหมุนได้ทันที เนื่องจากหน้าสัมผัสปกติปิดของคอนแทกเตอร์ K2 ในแถวที่ 1 และหน้าสัมผัสปกติเปิดของคอนแทกเตอร์ K1 ในแถวที่ 3 จะทำงานเป็น อินเตอร์ล็อคคอนแทกซึ่งกันและกัน ดังนั้น จึงต้องกดสวิตช์ปุ่มกด S1 เพื่อหยุดวงจรก่อนทุกครั้ง จึงจะสามารถหมุนกลับทางได้ ซึ่งการกลับทางหมุนแบบนี้นิยมใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ เพราะมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่จะมีกระแสสตาร์ทสูงมาก จึงไม่ควรกลับทางหมุนแบบทันทีทันใด เพราะจะทำให้อุปกรณ์ป้องกัน และมอเตอร์ไฟฟ้ามีอายุใช้งานสั้นลง

2.4 การออกแบบและสร้างชุดฝึก

2.4.1 สื่อการเรียนการสอนอาชีวศึกษา

2.4.1.1 การเรียนการสอนอาชีวศึกษาทุกระดับ หรือการฝึกอบรมวิชาชีพสาขาต่าง ๆ มีจุดหมายหลักสูตร (กรมอาชีวศึกษา, 2546 : 3) ดังนี้

2.4.1.1.1 ให้ผู้เรียนมีความรู้ (Technical Knowledge) มีทักษะ (Skills) มีความสามารถ (Ability) ในงานอาชีพตรงตามมาตรฐานวิชาชีพ นำไปปฏิบัติงานอาชีพได้อย่างมีประกอบอาชีพได้อย่างเหมาะสมสามารถเลือกวิถีการดำรงชีวิต และการประกอบอาชีพได้อย่างเหมาะสมกับตน สร้างสรรค์ความเจริญต่อชุมชน ท้องถิ่น และประเทศชาติ

2.4.1.1.2 ให้ผู้เรียนเป็นผู้มีปัญญา มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ใฝ่เรียน ใฝ่รู้เพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตและการประกอบอาชีพ สามารถสร้างอาชีพมีทักษะในการจัดการและการพัฒนาอาชีพให้ก้าวหน้าอยู่เสมอ

2.4.1.1.3 ให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่ออาชีพ มีความมั่นใจ และภาคภูมิใจในอาชีพที่เรียน รักงาน รักหน่วยงาน สามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี โดยมีความเคารพในสิทธิและหน้าที่ของตนเอง และผู้อื่น

2.4.1.1.4 ให้ผู้เรียนเป็นผู้มีพฤติกรรมทางสังคมที่ดีงาม ทั้งในการทำงานการอยู่ร่วมกัน มีความรับผิดชอบต่อครอบครัว หน่วยงาน ท้องถิ่น และประเทศชาติ อุทิศตนเพื่อสังคม เข้าใจและเห็นคุณค่าของศิลปะวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น รู้จักใช้และอนุรักษ์ธรรมชาติและสร้าง สิ่งแวดล้อมที่ดี

2.4.1.1.5 ให้ผู้เรียนมีบุคลิกภาพที่ดี มีมนุษยสัมพันธ์ มีคุณธรรม จริยธรรมและวินัยในตนเองมีสุขภาพอนามัยที่สมบูรณ์ทั้งร่างกายและจิตใจ เหมาะสมกับงานอาชีพนั้น ๆ

2.4.1.1.6 ให้ผู้เรียนมีความตระหนักและมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาเศรษกิจสังคม การเมืองของประเทศ และโลกปัจจุบัน มีความรักชาติ สำนึกในความเป็นไทย เสียสละเพื่อส่วนรวมดำรงรักษาไว้ซึ่งความมั่นคงของชาติ ศาสนา พระมหากษัตริย์ และการปกครองระบอบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข

2.4.1.2 จากแนวทางการนำนโยบายรัฐบาลและปัญจปฏิรูปการศึกษามุ่งสู่การพัฒนายุทธศาสตร์การบริหารการอาชีวศึกษา (สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, 2546 : 5) ที่มุ่งเน้นให้ผู้สำเร็จการศึกษามีคุณสมบัติมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของสังคมด้วยการเป็นคนดีคนเก่ง การเป็นคนคิดเป็น ทำเป็น แก้ปัญหาเป็น และการเป็นคนที่สามารถปรับตัวเข้ากับชุมชนหรือสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะความเก่งนั้น หมายถึง คนที่มีทักษะความชำนาญ ตามมาตรฐานวิชาชีพ (Vocational Standard) ของหลักสูตร และสอดคล้องกับมาตรฐานอาชีพ (Occupation Standard) นั้น สื่อการเรียนการสอน จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยให้สถานศึกษาจัดการเรียนการสอนได้ตามแนวทางการปฏิรูป การอาชีวศึกษา และบรรลุผลตามจุดหมายของหลักสูตร เพราะสื่อและนวัตกรรม นั้นเป็นเครื่องถ่ายทอดความรู้ ความรู้สึกนึกคิด ค่านิยม เจตคติ และประสบการณ์ให้กับผู้เรียนได้เป็นอย่างดี ซึ่งสื่อการเรียนการสอนอาชีวศึกษา ควรมีคุณสมบัติดังนี้

2.4.1.2.1 เป็นสื่อที่ทำให้เนื้อหาบทเรียนที่ยุ่งยาก ซับซ้อน ดูเข้าใจง่ายขึ้นและเรียนรู้ได้เร็วขึ้น

2.4.1.2.2 เป็นสื่อที่สร้างความสนใจให้กับผู้เรียน มีความเหมาะสมกับเนื้อหาวิชา ผู้เรียนรู้สึกสนุกกับการได้เรียน

2.4.1.2.3 เป็นสื่อที่เน้นให้ผู้เรียนและผู้สอนมีกิจกรรมร่วมกัน ผู้สอนได้ประสบการณ์จากวิชาที่สอนผู้เรียนได้ความรู้จากวิชาที่เรียน

2.4.1.2.3 เป็นสื่อที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ผู้สอนมีความตื่นตัวในการเตรียมการผลิตสื่อเพื่อการเรียนรู้ให้น่าสนใจยิ่งขึ้น

2.4.1.2.4 เป็นสื่อที่ทำให้ผู้เรียนมีความต้องการใช้ให้เกิดทักษะ และเสริมประสบการณ์ด้านอาชีพ

2.4.2 ความหมายของชุดฝึก

2.4.2.1 ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ (2545 : 12) ได้ให้ความหมายของการสอนทดลอง คือ กระบวนการที่ผู้สอนพยายามสร้างกิจกรรม หรือสถานการณ์เพื่อผู้เรียนได้สัมผัส และได้รับประสบการณ์จากการปฏิบัติการทดลองรวมทั้งเพื่อให้ผู้เรียนแก้ปัญหา พิสูจน์ข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่ได้มีการค้นพบแล้ว และเกิดการเรียนรู้ เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ สามารถพัฒนาทักษะการใช้เครื่องมือ รวมทั้งสามารถประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้ ทั้งนี้เนื่องจากในการเรียนรู้นี้ ผู้เรียนจะทำการทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมาโดยใช้วิธีการสอบสวนค้นคว้า และปฏิบัติการทดลอง ส่วนผู้สอนจะต้องเตรียมพร้อมในเรื่องของใบงานทดลอง ซึ่งประกอบด้วย จุดมุ่งหมาย รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ ลำดับขั้นการทดลอง ผลการทดลองรวมทั้งคำถามปัญหา และสิ่งอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จากนั้นผู้สอนจะทำการควบคุม

การทดลองจนกระทั่งผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง และจัดทำการอภิปรายผลการทดลองร่วมกันระหว่างผู้เรียน และผู้สอน ซึ่งการสอนแบบนี้จะทำให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทำการทดลองทั่วถึงกัน

2.4.2.2 ปรัชวี สวามิวัสดุ์ (2555 : 10) ได้ให้ความหมายของชุดฝึกไว้ว่า เป็นสื่อหรือนวัตกรรม ที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ฝึกทักษะให้กับผู้เรียน หลังจากเรียนจบเนื้อหาในช่วง ๆ หนึ่ง ๆ เพื่อฝึกฝนให้เกิดความรู้ความเข้าใจ รวมทั้งเกิดความชำนาญในเรื่องนั้น ๆ อย่างกว้างขวาง ชุดฝึกจึงมีความสำคัญต่อ ผู้เรียนในการที่จะช่วยเสริมทักษะให้กับผู้เรียนทำให้การสอนของครู อาจารย์ และ การเรียนของนักศึกษาประสบผลสำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.2.3 อภิภู สิทธิภูมิมงคล (2545 : 13) ได้ให้ความหมายของชุดฝึกไว้ว่า เป็นสื่อการศึกษาประเภทหนึ่งที่สร้างขึ้นมา เพื่อให้เป็นชุดประสบการณ์สำหรับการฝึกอบรม ชุดฝึกอาจจะประกอบด้วยสื่อเดียว หรือสื่อประสม ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยผู้ให้การฝึกอบรมใช้ประกอบกิจกรรมในการฝึกอบรม หรือช่วยผู้รับการฝึกอบรมสามารถที่จะศึกษาหาความรู้ได้ด้วยตนเอง สำหรับลักษณะสำคัญ ๆ ของชุดฝึกอบรมนั้นจะเกี่ยวข้องกับจุดมุ่งหมาย สื่อที่ใช้ระยะเวลา สถานที่ และประโยชน์ที่จะได้รับ ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.4.2.3.1 เป็นสื่อที่มีจุดมุ่งหมายเฉพาะเรื่อง ชุดฝึกอบรมที่พัฒนาขึ้นโดยทั่วไปจะมีจุดมุ่งหมายเฉพาะเรื่อง ๆ ไป หากเนื้อหาที่ต่อเนื่องเป็นเรื่องยาวก็จะทำเป็นชุด ๆ ต่อเนื่องกันไป เพื่อให้แต่ละชุดฝึกอบรมไม่ยาวมากจนเกินไป

2.4.2.3.2 เป็นสื่อประสม ชุดฝึกอบรมโดยทั่วไปทั้งในการศึกมานอกระบบและในระบบจะพัฒนาด้วยสื่อประสม คือ ประกอบด้วยสื่อตั้งแต่สองประเภทขึ้นไป เช่น ชุดฝึกอบรมประกอบด้วย สื่อภาพนิ่ง และเทปเสียง ชุดฝึกอบรมที่ใช้วิติทัศน์ และสื่อสิ่งพิมพ์เพื่อช่วยให้ผู้เข้ารับการอบรมได้ศึกษาหาความรู้หลาย ๆ ด้านด้วยกัน

2.4.2.3.3 เป็นสื่อเสริมกิจกรรมการฝึกอบรมที่มีผู้ให้การฝึกอบรมหรือเป็นสื่อที่ผู้รับการฝึกอบรมศึกษาด้วยตนเอง

2.4.2.3.4 เป็นสื่อที่ใช้ระยะเวลาฝึกอบรมสั้น ชุดฝึกอบรมโดยทั่วไปมีความมุ่งหมายที่จะอบรมเฉพาะเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละชุดจึงสั้น ๆ หากเนื้อหายาวมากก็จะจัดทำขึ้นหลายชุด โดยแบ่งเนื้อหาเป็นเรื่อง ๆ ไป ซึ่งทำให้ผู้เข้ารับการอบรมไม่เกิดความเบื่อหน่ายในการศึกษา

2.4.2.3.5 เป็นสื่อที่ใช้ได้ทุกสถานที่และทุกเวลา ซึ่งจะทำให้ผู้ฝึกอบรมสามารถศึกษาหาความรู้ได้ อยู่ที่ใดก็ได้ ชุดฝึกอบรมส่วนใหญ่จะทำขึ้นมาให้อำนวยในเรื่องการใช้ได้ทุกเวลายิ่งเป็น สื่อที่ศึกษาด้วยตนเองแล้ว ผู้รับการฝึกอบรมสามารถจะศึกษาเมื่อใดก็ได้ตามที่ต้องการ

2.4.2.3.6 เป็นสื่อที่เบ็ดเสร็จในตัวเอง ชุดฝึกอบรมแต่ละชุดจะจัดทำขึ้นให้เบ็ดเสร็จในตัวเองทำให้ผู้ฝึกอบรมสามารถที่จะเลือกศึกษาหาความรู้จากชุดฝึกอบรมได้ตามความ

ต้องการ หรือผู้รับการฝึกอบรมต้องการศึกมาเฉพาะเรื่องใดเรื่องหนึ่ง จากชุดฝึกอบรมก็จะสามารถที่จะเลือกศึกษาเฉพาะเรื่องได้ โดยไม่ต้องอ่านต่อเนื่องไปยังสิ่งที่ไม่ต้องการศึกษา

จากความหมายดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า ชุดฝึกทักษะเป็นสื่อหรือนวัตกรรมที่จัดทำ ขึ้นเพื่อใช้ฝึกทักษะให้กับผู้เรียน หลังจากเรียนจบเนื้อหาในช่วง ๆ หนึ่ง ๆ เพื่อฝึกฝน ให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ซึ่งชุดฝึกอาจจะประกอบด้วยสื่อเดียว หรือสื่อประสมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วย ผู้ให้การฝึกอบรมใช้ประกอบกิจกรรมในการฝึกอบรม หรือช่วยผู้รับการฝึกอบรมสามารถที่จะศึกษาหาความรู้ได้ด้วยตนเอง

2.4.3 ลักษณะที่ดีของชุดฝึกทักษะ

2.4.3.1 พินิจ จันทร์ช้าย (2546 : 92) กล่าวถึง ลักษณะของชุดฝึกที่ดี ประกอบด้วย เนื้อหาต้อง ชัดเจน มีรูปแบบ เร้าความสนใจ ตอบสนองการเรียนรู้ของผู้เรียน และทำให้ผู้เรียนมีความสุขในการเรียน

2.4.3.2 อำนวย เลื่อมใส (2546 : 93) กล่าวถึง ลักษณะที่ดีของชุดฝึกทักษะ ดังนี้

2.4.3.2.1 ควรเกี่ยวข้องกับเรื่องที่เรียนมาแล้ว เป็นเรื่องที่มีความหมายต่อผู้เรียน และสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

2.4.3.2.2 ตรงตามจุดมุ่งหมายของการฝึก ลงทุนน้อย และทันสมัยอยู่เสมอ

2.4.3.2.3 ภาพประกอบ ภาษา สำนวนภาษา ความยากง่าย และเวลาในการฝึก มีความเหมาะสมกับวัย และพื้นฐานความรู้ความสามารถของผู้เรียน เพราะจะทำให้ฝึกคิดได้เร็วและสนุกสนาน

2.4.3.2.4 ใช้หลักจิตวิทยา ปลุกเร้าความสนใจ มีสิ่งแปลกใหม่ น่าสนใจและท้าทายให้ผู้เรียนสามารถแสดงความสามารถได้เต็มศักยภาพ และตอบสนองความต้องการของท้องถิ่น

2.4.3.2.5 มีข้อเสนอแนะ คำชี้แจง และตัวอย่างสั้น ที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจวิธีทำได้ง่าย ๆ

2.4.3.2.6 มีหลายรูปแบบ ให้เลือกตอบอย่างจำกัดและอย่างเสรี เปิดโอกาสให้ผู้เรียนเลือกฝึก และศึกษาด้วยตนเองเลือกฝึก และศึกษาด้วยตนเองและนอกห้องเรียน

2.4.3.2.7 ควรเลือกฝึกเป็นเรื่อง ๆ แต่ละเรื่องไม่ควรยาวจนเกินไป เน้นกิจกรรมการเรียนรู้ที่

2.4.3.2.10 ควรได้รับการปรับปรุงควบคู่กับหนังสือเรียนเสมอ และควรใช้ได้ดีทั้งในห้องเรียน

2.4.3.2.9 ควรเป็นชุดฝึกที่สามารถประเมิน และจำแนกความเจริญงอกงามของผู้เรียนได้อีกด้วย

2.4.3.3 ประภาพร ถิ่นอ่อง (2553 : 33) ได้กล่าวว่า ลักษณะของชุดฝึกที่ดีต้องมีจุดหมายที่แน่นอนจะทำการฝึกทักษะด้านใด ควรใช้ภาษาง่าย ๆ และมีความสนใจเรียงลำดับจากง่ายไปหายากให้เหมาะสมกับวัย และความสามารถของผู้เรียน มีเนื้อหาตรง จัดกิจกรรมให้หลากหลายเพื่อดึงดูดความสนใจ และเกิดประสิทธิภาพในการเรียน

2.4.3.4 ปราณี จิณฤทธิ์ (2552 : 32) ได้กล่าวว่า ลักษณะของชุดฝึกที่ดีต้องสร้างให้เกี่ยวข้องกับบทเรียนเป็นชุดฝึกสำหรับเด็กเก่ง และใช้ซ่อมเสริมเด็กอ่อนได้มีคว่ามหลากหลายในชุดฝึกชุดหนึ่ง ๆ มีคำสั่งที่ชัดเจน เปิดโอกาสให้ผู้ฝึกได้คิดท้าทายความสามารถมีความเหมาะสมกับวัย ใช้เวลาฝึกไม่นาน ผู้ฝึกสามารถนำประโยชน์จากการทำชุดฝึกไปประยุกต์ปรับเปลี่ยนนำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ลักษณะของชุดฝึกที่ดี ควรสร้างเพื่อฝึกทักษะเฉพาะอย่าง ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัย ความสามารถ และพัฒนาการของผู้เรียน มีกิจกรรมหลายรูปแบบ เพื่อเร้าความสนใจของผู้เรียน ฝึกทักษะตามลำดับขั้นเรียงจากง่ายไปหายาก ใช้เวลาในการฝึกพอสมควรและมีการประเมินผลเพื่อให้ผู้เรียนได้ประเมินความสามารถของตนเอง

2.4.4 หลักการสร้างชุดฝึก

2.4.4.1 นิตยา กิจโร (2553 : 40) ได้สรุปหลักการสร้างชุดฝึกไว้ดังนี้

2.4.4.1.1 การสร้างชุดฝึกจำเป็นต้องกำหนดโครงร่างไว้ก่อนว่ามีวัตถุประสงค์อย่างไร ชุดฝึกเกี่ยวกับเรื่องอะไร

2.4.4.1.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.4.1.3 เขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.4.4.1.4 แจ้งวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมย่อย โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของผู้เรียน

2.4.4.1.5 กำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม

2.4.4.1.6 กำหนดเวลา และขั้นตอนให้เหมาะสม

2.4.4.1.7 การประเมินผลอย่างไร

2.4.4.2 ปราณี จิณฤทธิ์ (2552 : 32) ได้กล่าวว่า หลักการสร้างชุดฝึก ผู้สร้างต้องคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล แบบฝึกที่สร้างต้องมีหลาย ๆ รูปแบบ สร้างจากง่ายไปหายากมีความถูกต้องในการสร้างชุดฝึกมีการสอดแทรกทักษะวิชาอื่นเข้าไปด้วย ควรจัดทำชุดฝึกไว้ล่วงหน้าเพราะ ชุดฝึกควรทำหลังจากผู้เรียนได้เรียนบทเรียนในเรื่องนั้น ๆ จบลงทันที

2.4.4.3 จามรี สินจรูญศักดิ์ (2548 : 25) กล่าวว่าหลักในการสร้างชุดฝึก และการนำชุดฝึกมาใช้ในการเรียนการสอน ควรพิจารณาดังนี้

2.4.4.3.1 อ่าน และศึกษาจุดประสงค์ให้เข้าใจก่อน

2.4.4.3.2 ลองทำกิจกรรมในชุดฝึกดูว่าทำได้หรือไม่

2.4.4.3.3 พิจารณาเนื้อหา และกิจกรรมของชุดฝึกว่าสอดกล้องกันหรือไม่

2.4.4.3.4 พิจารณาวัตถุประสงค์ของชุดฝึก และกิจกรรมการเรียนการสอนว่าสอดคล้องกันหรือไม่

2.4.4.3.5 ชุดฝึกนั้นเหมาะสมกับผู้เรียนหรือไม่

2.4.4.3.6 เตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในชุดฝึกให้เหมาะสมและสอดคล้องกับกิจกรรม

2.4.4.3.7 พิจารณาเวลาที่ใช้ในการฝึกว่าเหมาะสมหรือไม่

2.4.4.3.8 อภิปรายร่วมกันกับนักเรียนหลังจากที่นักเรียนทำชุดฝึกแล้วเพื่อศึกษาปฏิกิริยาตอบสนองของนักเรียนว่าเข้าใจหรือไม่

2.4.5 ขั้นตอนการสร้างชุดฝึก

2.4.5.1 แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอน สาขาวิชาช่างอุตสาหกรรม ให้มีประสิทธิภาพดีเพื่อเป็นสื่อกลางระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน เพื่อช่วยส่งผ่านความรู้ เจตคติ และทักษะต่าง ๆ ไปยังผู้เรียนทำให้การเรียนการสอนบรรลุตามเป้าหมายที่วางไว้ คือ การมีสื่อการเรียนการสอนที่ดีสอดคล้องกับ หลักสูตรและผู้สอนยังผลให้การสอนของครูดีขึ้น และการเรียนรู้ของนักเรียนมากขึ้นตามไปด้วยในการผลิตสื่อการสอน โดยเฉพาะวิชาทดลอง นอกจากจะคำนึงถึงระบบและวิธีการสอน ยังมีหลักอีก 3 ประการ คือ (ธนะรัตน์ 2538)

2.4.5.1.1 เทคนิคการผลิต

2.4.5.1.2 ความคิดสร้างสรรค์ในการผลิต

2.4.5.1.3 การออกแบบให้สอดคล้องกับกระบวนการสอน จุดมุ่งหมายการสอน และลักษณะที่จะนำไปใช้ (ไชยยศ, 2526)

2.4.5.2 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้สื่อการสอนแต่ละชนิด (สุนันท์, 2526) มีดังต่อไปนี้

2.4.5.2.1 ความเหมาะสม สื่อที่ใช้เหมาะสมกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ของการสอนหรือไม่

2.4.5.2.2 ความถูกต้อง สื่อที่ใช้ช่วยให้นักเรียนได้ข้อสรุปที่ถูกต้อง หรือไม่

2.4.5.2.3 ความเข้าใจ สื่อที่ใช้ช่วยให้ นักเรียนรู้จักคิดอย่างมีเหตุผล และให้ข้อมูลถูกต้องแก่นักเรียน หรือไม่

2.4.5.2.4 ประสบการณ์ที่ได้รับจากสื่อที่ใช้ช่วยเพิ่มพูน ประสบการณ์ให้แก่นักเรียนหรือไม่

2.4.5.2.5 เหมาะสมกับระดับความยากง่ายของเนื้อหาที่บรรจุอยู่ในสื่อชนิดนั้นเหมาะกับระดับ ความสามารถความสนใจ และความต้องการของนักเรียนหรือไม่

2.4.5.2.6 เที่ยงตรงในเนื้อหาสื่อนั้น ช่วยให้นักเรียนได้รู้เนื้อหาที่ถูกต้องหรือไม่

2.4.5.2.7 ใช้การได้ดี ถ้าจะนำสื่อมาใช้จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเรียนรู้ได้ดีหรือไม่

2.4.5.2.10 คุ้มกับราคาผลที่ได้จะคุ้มกับ เวลา เงิน และการจัดเตรียม หรือไม่

2.4.5.2.9 ตรงกับความต้องการ สื่อนั้น ช่วยให้นักเรียนร่วมกิจกรรมตามที่ครูต้องการหรือไม่

2.4.5.2.10 ช่วงเวลาความสนใจสื่อนั้นช่วยกระตุน ให้นักเรียนสนใจในช่วงเวลานานพอสมควร หรือไม่ (สมเกียรติ, 2546)

2.4.5.3 สำหรับแนวทางในการผลิตสื่อการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

2.4.5.3.1 การหาขอบข่ายเนื้อหาวิชา ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ ที่ต้องดำเนินควบคู่กันไป คือการศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหาวิชาการศึกษาเปรียบเทียบหลกัสูตร สำรวจโรงงาน และการสำรวจสถานศึกษา ดังนี้

ก) การศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหาวิชา เพื่อวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์และแบ่งระดับ ความยากง่ายของเนื้อหาวิชาที่จะทำการออกแบบสื่อการสอน โดยศึกษาจากตำราเอกสารการสัมมนา ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ และศึกษางานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

ข) การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตรเพื่อศึกษาความสอดคล้องความแตกต่างของหลักสูตร ที่ใช้ในการเรียนของสถานศึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกัน โดยการศึกษาจากเอกสาร หลักสูตร การสอบถามจากครูผู้สอน ผลที่ได้จะช่วยในการเลือก และกำหนดหัวข้อเรื่องได้สอดคล้องกับหลักสูตร

ค) การสำรวจโรงงานเป็นการสำรวจสภาพของการทำงาน เครื่องมืออุปกรณ์ และเทคนิค ที่ใช้ในการทำงานตามหัวข้อเรื่องชุดสื่อการเรียนการสอน โดยสอบถามวิศวกรโรงงาน และงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง เพื่อการกำ หนดรายละเอียดของการวิเคราะห์งาน ความสามารถในงาน ความรู้และทักษะ ที่ต้องการในงาน

ง) การสำรวจสถานศึกษาเป็นการเรียนรู้วิธีการเรียนการสอน ความพร้อมของเครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในสถานศึกษา ตลอดจนปัญหา และอุปสรรคในการเรียน การสอน โดยการสำรวจ หรือสอบถามจากครูผู้สอน

2.4.5.3.2 การกำหนดเนื้อหา และวัตถุประสงค์จากขอบข่ายเนื้อหาที่ได้นำมาจำแนกให้อยู่ในรูปของความรู้และทักษะที่จำ เป็นลงในแบบการวิเคราะห์กิจกรรม จะเป็นเครื่องมือ

ช่วยในการกำหนด และตัดสินใจเลือกเนื้อหาวิชา หัวข้อที่ได้รับการคัดเลือกแล้วจะถูกนำมาเขียนในรูปวัตถุประสงค์ทั่วไป และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.4.5.3.3 การออกแบบและการสร้าง

วัตถุประสงค์ที่ผ่านการตรวจสอบจะเป็นแนวทางในการออกแบบการสร้างอุปกรณ์การสอนที่เป็นชุดฝึก ใบเนื้อหาและใบทดลอง

ก) ชุดฝึกใช่เป็นทั้งการสอนของครู และเป็นอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมของนักศึกษา ชุดฝึกจึงมีความสำคัญมากต่อความสัมฤทธิ์ผลทางการเรียนของนักศึกษาและความสามารถ ในการทำงานของช่างอุตสาหกรรม จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยประกอบขึ้นมาจากอุปกรณ์การสอน หรือชุดฝึก

ข) ใบเนื้อหาหรือใบความรู้การเขียนใบเนื้อหาจะต้องยึดรายการวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เป็นหลักโดยวัตถุประสงค์จะเป็นตัวบอกว่าต้องการให้นักศึกษาเรียนรู้อะไร ใบเนื้อหาจะต้อง ครอบคลุมขอบเขตเนื้อหาอะไรบ้าง เพื่อให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์ และจะต้องมีการตรวจ กลับไปมาระหว่างรายการวัตถุประสงค์และเนื้อหา เพื่อให้แน่ใจว่าได้เนื้อหาครอบคลุมทุกวัตถุประสงค์

ค) ใบทดลองหรือใบงานเป็นการทำกิจกรรมของนักศึกษา เพื่อให้ได้มาซึ่งเนื้อหา วัตถุประสงคโดยนักศึกษาร่วมกันคิดถกปัญหาในระหว่างขบวนการเรียนการสอนหรือสำหรับ วิเคราะห์หลังจากผ่านการทดลองไปแล้วทั้งใบเนื้อหา และใบทดลองจะถูกสร้างโดยใช้ข้อมูลจากการออกแบบ และสร้างชุดฝึก การทดลองใช้เมื่อออกแบบและสร้างชุดฝึกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็นำชุดฝึกไปทดลองใช้กับนักศึกษา และประเมินผลการทดลองใช้ว่าบรรลุวัตถุประสงค์การทดลอง หรือไม่ เพื่อจะได้นำไปแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

2.4.5.3.4 การปรับปรุงแก้ไข

ข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดฝึกให้มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับได้ ขั้นตอนการออกแบบสร้างชุดฝึก (วัลลภ, 2543) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก) ขั้นตอนที่ 1 : ศึกษารวบรวมข้อมูลในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับใช้ในการออกแบบโดยเกี่ยวข้องกับหัวข้อเรื่อง ได้แก่

1) การกำหนดชื่อเรื่องหลังจากการศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และการเตรียมการด้านต่าง ๆ แล้วผลลัพธ์ที่ออกมาก็คือการตัดสินใจที่จะออกแบบสร้างอุปกรณ์ทดลองในเรื่องใดเรื่องหนึ่งเป็นการกำหนด ชื่อหัวเรื่อง

2) การกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียนการสอน โดยศึกษาข้อมูลจากหลักสูตร

3) ข้อมูลเกี่ยวกับบทเรียน มีนักเรียนในห้องจำนวนเท่าไร การสอนต้องให้นักเรียนเกิดประสบการณ์จริงทำการทดลองเป็นกลุ่มระดับชั้นของผู้เรียน

4) ข้อมูลจากการศึกษาค้นคว้าอื่น ๆ ได้แก่ หนังสือตำราเรียน การสัมภาษณ์ครู รูปภาพจาก Catalogue ของผู้ผลิตอื่น

5) รายการจุดประสงค์ของการทดลอง การกำหนดจุดประสงค์ในการทดลองมีความสำคัญมา เป็นการกำหนดขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่จะออกแบบสร้าง เป็นการศึกษาพิจารณาว่าจะให้ข้อมูลความรู้ในเรื่องใดบ้าง

6) วิเคราะห์จุดประสงค์การทดลอง การวิเคราะห์จุดประสงค์การทดลองก็เพื่อจะค้นหาแนวทางในกำหนดสิ่งที่จะเป็นตัวทำหน้าที่ (Function) ในการทำงานของ อุปกรณ์ การวิเคราะห์ให้ตั้งคำถามสำคัญไว้ คือ ในจุดประสงค์ของการทดลองมีค่าพื้นฐาน (Basic Term) อะไรบ้าง ในจุดประสงค์การทดลองมีค่าสัมพันธ์ร่วม (Component Term) อะไรบ้าง ในจุดประสงค์การทดลองมีค่าเป็นอิทธิพล (Influence Term) อะไรบ้าง

ข) ขั้นตอนที่ 2 : การกำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์ (Function) หลังจากที่ได้กำ หนดจุดประสงค์หรือเป้าหมายของอุปกรณ์ทดลองและทำการวิเคราะห์แล้ว ก็จะนำค่าพื้นฐาน ค่าสัมพันธ์ร่วม และค่าเป็นอิทธิพลมาศึกษาพิจารณาต่อไปอีก เพื่อกำหนดว่า จะทำอย่างไรที่จะให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามเป้าหมายที่กำหนด คือ ค้นหาหน้าที่ที่จะเป็นไปได้ ของอุปกรณ์ ในการกำหนดมีแนวทางการศึกษาพิจารณา 2 ประการ คือ จะใช้วัสดุหลังงานหรือสัญญาณใด สำหรับให้เกิดผลหน้าที่ตามค่าพื้นฐานนั้น และหน้าที่ของค่าพื้นฐานต่าง ๆ ควรจะมีคุณลกัษณะอย่างไร

ค) ขั้นตอนที่ 3 : การศึกษาพิจารณาหน้าที่ของอุปกรณ์ (Consideration of Function Carrier) หลังจากกำหนดหน้าที่ของรายการค่าพื้นฐานแล้ว ในลำดับต่อไปนี้ก็จะต้องศึกษาพิจารณาเพื่อ กำหนดวัสดุหลังงานสัญญาณของหน้าที่นั้น ๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อใช้สำหรับตัดสินใจ เลือกให้ได้สิ่งที่ดีและเหมาะสมที่สุด ขั้นตอนในการดำเนินการมี 3 ขั้นตอน คือ

1) เขียนรายการหน้าที่หรือค่าพื้นฐาน ตามคุณลักษณะที่กำหนดให้ในขั้นตอนที่ 2

2) เขียนรายการสิ่งที่จะทำให้เกิดหน้าที่ (Function Carrier) ชนิดวัสดุลักษณะรูปร่าง ขนาด หลักงาน และสัญญาณ (Signal) พยายามค้นหาให้ได้มาก ที่สุดเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกต่อไป ซึ่งข้อมูลเหล่านี้อาจจะค้นคว้าได้จากความรู้ความสามารถ และประสบการณ์ของนักออกแบบ หรือจากเพื่อนร่วมงาน จากเอกสาร (Catalog) จากบริษัทต่าง ๆ รายการวิทยุ โทรทัศน์ เอกสารอ้างอิง หนังสือตารา เป็นต้น

3) กำหนดลกัษณะรูปร่างทางเทคนิคในการออกแบบจะกำหนดความเป็นไปได้ของชิ้นส่วนประกอบให้มากแบบที่สุด เพื่อดำเนินการวิเคราะห์ตัดสินในเลือกต่อไปการออกแบบชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ จะต้องพิจารณาในด้านวัสดุขนาด รูปร่างอาจจะเป็นชิ้นส่วน ที่มีอยู่แล้วหรือไม่ หรือจะต้อง

ผลิตใหม่หรือต้องนำวัสดุกึ่งสำเร็จมาดัดแปลง จะซื้อเป็นชิ้นส่วน สำเร็จหรือจะให้ผู้อื่นทำ เป็นต้น แต่ละชิ้นส่วนจะต้องทำ การตัดสินใจเลือกต่อไป

ง) ขั้นตอนที่ 4 : วิเคราะห์ตัดสินใจเลือก

1) วิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลักษณะรูปร่างทางเทคนิค

2) วิเคราะห์ตัดสินใจเลือกชนิดวัสดุเช่น ราคาไม่แพง หาง่าย น้ำหนักเบา มีความสวยงาม

3) วิเคราะห์ขนาดระยะ บางขนาดต้องทำการทดลองลักษณะ การประกอบกันของชิ้นส่วน บางขนาดสามารถกำหนดได้เลยโดยพิจารณาความสวยงามของอุปกรณ์ และผลที่จะเกิดต่อค่าที่ได้

จ) ขั้นตอนที่ 5 : การทดลองต้นแบบ (Model Trial Experiment) เมื่อได้รายละเอียดพอสมควรก่อนจะสร้างเป็นต้นแบบบางครั้งอาจจำเป็นต้องทดลองสร้าง ต้นแบบเพื่อทดลองดูว่าอุปกรณ์จะทำงานได้ดังคาดหมาย หรือไม่

ฉ) ขั้นตอนที่ 6 : สร้างต้นแบบการดำเนินงานจนถึงขั้นตอนนี้จะได้ผลงานออกมาเป็นต้นแบบ ชุดอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้าง ขึ้นจะนำมาทดลองใช้ว่า สามารถใช้งานได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ สามารถทำงานหรือใช้งานได้เพียงใด อาจนำเข้าที่ประชุมให้ฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ร่วมปรึกษาแสดงความคิดเห็น เช่น ฝ่ายตลาด ฝ่ายผลิต ฝ่ายควบคุมมาตรฐาน ฝ่ายออกแบบ และครูผู้สอนทุก ๆ ฝ่ายจะได้แสดงความคิดเห็นถึงจุดดี จุดเด่น และจุดเสียที่จะต้องปรับปรุงแก้ไขก่อนดำเนินการผลิตจำนวนมากเพื่อจำหน่ายต่อไป

ช) ขั้นตอนที่ 7 : งานเขียนแบบเมื่อนำชุดอุปกรณ์ทดลองต้นแบบเข้าประชุมปรึกษาหารือเพื่อสรุปจุดที่ต้องแก้ไขปรับปรุงงานต่อไปก็คือ การเตรียมการผลิต ซึ่งจะต้องมีการเตรียมแบบงานตั้งแต่แบบงานประกอบรวมจนถึงแบบแยกชิ้น และจะต้องมีระบบในการกำหนดหมายเลขแบบงาน

ซ) ขั้นตอนที่ 8 : เตรียมเอกสารประกอบเอกสาร ประกอบด้วย

1) รายการวัตถุประสงค์ในการเรียน

2) ใบเนื้อหาที่เกี่ยวข้องโดยสรุปเพื่อเป็นพื้นฐานให้ผู้เรียนได้ทนทาน

3) ขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์ โดยอาจมีภาพประกอบ

4) เอกสารการทดลอง เพื่อให้ผู้เรียนได้เติมข้อมูลที่ได้จากการทดลองความสัมพันธ์ของสูตรซึ่งอาจเป็นตาราง

5) แบบฟอร์มเพื่อสรุปผลการทดลอง

สรุป จากการศึกษารายละเอียดได้ว่าขั้นตอนในการออกแบบสร้างชุดฝึก หรือสาธิตมีขั้นตอนสำคัญ 7 ขั้นตอน คือ

1) กำหนดจุดประสงค์ในการนำอุปกรณ์ทดลอง สาธิต ไปใช้การสอน

2) กำหนดหน้าที่ (Function) ของอุปกรณ์

3) ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามรายการหน้าที่

4) วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์

5) สร้างต้นแบบ และตรวจสอบ

6) เขียนแบบงาน (Technical Drawing)

7) การเตรียมเอกสารประกอบ (Software)

สรุป การการออกแบบและสร้างชุดฝึกเพื่อเป็นต้นแบบและเป็นสื่อกลางระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน เพื่อช่วยส่งผ่านความรู้เจตคติ และทักษะต่าง ๆ ไปยังผู้เรียนทำให้การเรียนการสอนบรรลุตามเป้าหมายที่วางไว้

2.4.6 วัสดุสำหรับสร้างชุดฝึก

การออกแบบชุดฝึกควรคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุในการสร้าง เนื่องจากเป็นอีกปัจจัยที่จะต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อให้สามารถสร้างชุดฝึกที่มีคุณภาพ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมตอการนำไปใช้งาน เช่น แข็งแรง น้ำหนักเบา ทนการกัดกร่อน กันสนิม กันไฟลาม หรือมีความเป็นฉนวนไฟฟ้า อีกสิ่งนึกที่ต้องให้ความสำคัญ คือความสวยงามของวัสดุ ความทันสมัย ความนิยมในช่วงเวลานั้น ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ทำให้ชุดฝึกที่สร้างขึ้นมีผลทำให้ผู้ใช้งาน หรือผู้เรียนมีความพึงพอใจในการใช้งานชุกฝึกนั้น ๆ

2.4.6.1 อลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)

Aluminum Profile อลูมิเนียมโปรไฟล์ หรือ Aluminum Frame อลูมิเนียมเฟรม คือ อลูมิเนียมที่มีการรีดขึ้นรูป มีลักษณะเป็นเส้นยาว มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกแต่งจากโลหะทั่วไป จึงนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย โดยหลักๆแล้วอลูมิเนียมโปรไฟล์จะแบ่งได้เป็น 2 หมวดหมู่ คือ แบบ Slot Frame และ Pipe Frame โดยหมวดหมู่ที่เป็นแบบ Slot Frame จะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม แยกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ T-Slot, V-Slot และ Nut-Slot โดย 3 ประเภทนี้จะแบ่งเป็น 3 ซีรีย์ คือ ซีรีย์ 20, ซีรีย์ 30, และ ซีรีย์ 40 และหมวดหมู่ที่เป็น แบบ Pipe Frame จะเป็นประเภทเดียวที่มีลักษณะกลม

ภาพที่ 2-58 อลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)

(**ที่มา :** https:// www.freepik.com%2Ffree-photos-vectors%2Faluminium-profile)

2.4.6.1.1 ประเภทของอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)

อลูมิเนียมโปรไฟล์ Aluminium Profile หรือ อลูมิเนียมเฟรม Aluminium Frame จะถูกแบ่งประเภทตามหน้าตัดของอลูมิเนียมโปรไฟล์ประเภทนั้น ๆ ได้แก่

ก) ชนิดหน้าตัด อลูมิเนียมโปรไฟล์ T-Slot

T-Slot ทุกซีรีย์ จะมีลักษณะของร่องที่เหมือนกัน คือ ด้านในร่องเป็นมุมป้าน ปลายร่องจะตัดตรง คล้ายรูปตัว T และถึงแม้ว่าอลูมิเนียมไฟล์จะมีรูปร่างหรือลักษณะที่ต่างออกไปจากรูปตัวอย่าง ขอให้สังเกตจากร่องเป็นหลัก

ข) ชนิดหน้าตัด อลูมิเนียมโปรไฟล์ V-Slot

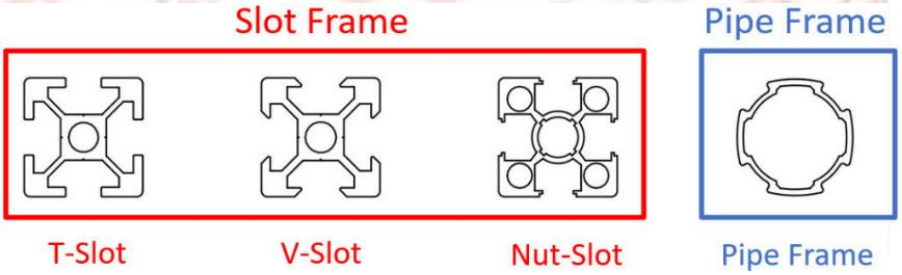
V-Slot จะมีเฉพาะ ซีรีย์ 20 เท่านั้น ลักษณะของร่อง คือ ด้านในร่องเป็นมุมป้าน ปลายร่องจะตัดเฉียงทำมุม 45° คล้ายรูปตัว V และถึงแม้ว่าอลูมิเนียมไฟล์จะมีรูปร่างหรือลักษณะที่ต่างออกไปจากรูปตัวอย่าง ขอให้สังเกตจากร่องเป็นหลัก

ค) ชนิดหน้าตัด อลูมิเนียมโปรไฟล์ N-Slot

Nut-Slot ทุกซีรีย์จะมีลักษณะของร่องที่เหมือนกัน คือ ด้านในร่องจะขนานกับปลายร่องจะตัดตรง คล้ายรูปตัว U แต่สาเหตุที่เรียก Nut-Slot เพราะว่าอลูมิเนียมโปรไฟล์ประเภทที่จะสามารถใส่น็อตหกเหลี่ยมสำหรับยึดได้ และถึงแม้ว่าอลูมิเนียมโปรไฟล์จะมีรูปร่างหรือลักษณะที่ต่างออกไปจากรูปตัวอย่าง ขอให้สังเกตจากร่องเป็นหลัก

ง) Pipe frame อลูมิเนียม

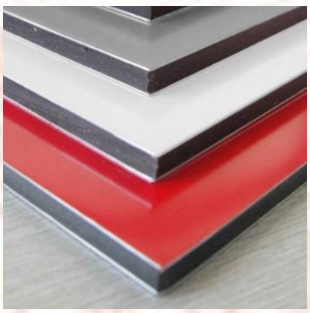
Pipe Frame หรือ อีกชื่อคือ Aluminium Green Frame ทุกรุ่นจะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ เป็นทรงกลม น้ำหนักเบา บางรุ่นอาจจะมีร่องคล้ายรูปตัว T และถึงแม้ว่า Aluminium Pipe Frame จะมีรูปร่างหรือลักษณะที่ต่างออกไปจากรูปตัวอย่าง ขอให้สังเกตจากรูปทรงเป็นหลัก



ภาพที่ 2-59 ภาพหน้าตัดของอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)
(**ที่มา :** https://www.guenter.co.th/2023/11/08)

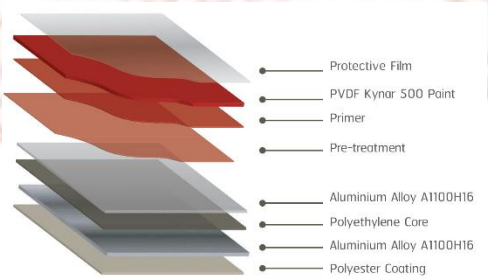
2.4.6.2 อลูมิเนียมคอมโพสิต (Aluminium Composite)

อลูมิเนียมคอมโพสิต (ภาษาอังกฤษ Aluminium Composite หรือ Aluminium Cladding) ถูกพัฒนาจากการนำเอาคุณสมบัติเด่นของอลูมิเนียม และพลาสติก PE ทำให้มีความยืดหยุ่นจากภายใน พื้นผิวภายนอกแข็งแรงทนทาน แต่มีน้ำหนักเบา อลูมิเนียม คอมโพสิตมักเป็นตัวเลือกที่ใช้ในงานประเภทโครงสร้างผนัง ตกแต่งพัฒนาอาคารทั้งภายใน และภายนอกที่แตกต่างกันได้ ด้วยสเป็คสี และลวดลายของแผ่นที่มีความหลากหลาย



ภาพที่ 2-60 อลูมิเนียมคอมโพสิต (Aluminium Composite)
(**ที่มา :** https://www.indiamart.com%2Fproddetail%2Faluminium-composite-panel-sheet)

อลูมิเนียมคอมโพสิตของ ALU BE-BOND ประกอบด้วย ตัวแผ่นอลูมิเนียมหนาประมาณ 0.21 – 0.50 มม. มีระบบเคลือบสีที่แตกต่างกันออกไปตามแต่สเป็คของแต่ละงาน อาทิ เช่น PVDF หรือ Polyester และแกนกลางเป็นพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (PE) หรือฉนวนกันไฟ (FR) และปิดผิวด้านหน้าของวัสดุด้วยฟิล์มกันรอยขีดข่วน



ภาพที่ 2-61 โครงสร้างของอลูมิเนียมคอมโพสิต (Aluminium Composite)
(**ที่มา :** https://bewiding.com/alu-be-bond-products/aluminium-composite-panel/#aluminium-composite)

2.5 การออกแบบและสร้างใบงาน

2.5.1 แบบทดสอบ

2.5.1.1 ความหมายของแบบทดสอบ

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์ (2542 : 72) ให้ความหมาย แบบทดสอบ ว่าเป็นวิธีการเชิงระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบพฤติกรรมของบุคคลตั้งแต่ สองคนขึ้นไป ณ เวลาหนึ่ง หรือ ของบุคคลคนเดียวหรือหลายคนในเวลาต่างกัน

อุทุมพร (ทองอุไทย) จามรมาน (2545 : 5) แบบทดสอบได้แก่ เครื่องมือตรวจสอบทางการศึกษาที่กระตุ้นสมองให้แสดงพฤติกรรมออกมา ในเชิงความสามารถของบุคคลนั้น ๆ ประกอบด้วยข้อสอบจำนวนหนึ่ง ซึ่งข้อสอบ ได้แก่ ข้อความหรือข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับจุดมุ่งหมายในการทดสอบและเนื้อหาสาระที่ทดสอบเฉพาะอย่าง และเกี่ยวข้องกับบุคคลที่ถูกทดสอบ

ในการวัดความรู้จะใช้แบบทดสอบ ซึ่งความรู้ในที่นี้มาจากคำว่า knowledge ซึ่งพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตสถาน พ.ศ. 2542 (หน้า 232) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ความรู้ หมายถึง สิ่งที่สั่งสมมาจากการศึกษาเล่าเรียน การค้นคว้า หรือประสบการณ์ รวมทั้งความสามารถเชิงปฏิบัติและทักษะ ซึ่งความรู้เป็นความจริงที่มีถูกและผิด ซึ่งถูกผิดเป็นไปตามหลักวิชาและเหตุผลเชิง วิทยาศาสตร์ที่สามารถตรวจสอบ และพิสูจน์ได้ค้นคว้าความรู้มีลักษณะเป็นเพียงแนวคิด ของพฤติกรรมหรืออาการเท่านั้น มีได้มีส่วนประกอบของเนื้อหารวมด้วยเลขเพราะจะถามว่าท่านมีความรู้หรือไม่เฉย ๆ ไม่ได้เลย ต้องมีเนื้อหาที่ต้องการถามรวมอยู่ด้วยจึงจะตอบได้เช่น ท่านมีความรู้เรื่องเมืองไทยหรือไม่ ท่านมีความรู้เรื่องสุขภาพหรือไม่ คำว่า เมืองไทย สุขภาพ เป็นเนื้อหาที่เป็นสิ่งกระตุ้นให้ผู้ตอบแสดงพฤติกรรม หรืออาการของความรู้ออกมาแล้ววัดพฤติกรรมหรืออาการของความรู้นั้น

2.5.2 ใบงานหรือใบทดลอง

ใบงานหรือใบทดลอง คือ เอกสารที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองปฏิบัติการในหัวข้อนั้น ๆ มีตังแต่ ชื่อเรื่องที่จะทดลอง วัตถุประสงค์ของการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองภาพวงจรต่าง ๆ ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติการ และคำอธิบายเกี่ยวกับความปลอดภัยในระหว่างการทดลองตามที่จำเป็น อาจมีตารางบันทึกผล หรือตารางกราฟเพื่อบันทึกผลการวัดค่าต่าง ๆ ในการประลองและมีแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง และแนะนำการสรุปผลเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เรียนนำไปเขียนรายงาน และอภิปรายสรุปผลหลังการเรียนได้ ใบงานใช้มากในงานทดลองต่าง ๆ ด้าน วิทยาศาสตร์และมีความเหมาะสมกับการทดลองทางไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาถึงทฤษฎีต่าง ๆ

2.5.2 การสร้างใบงาน

2.5.2.1 หลักการสร้างใบงานเพื่อให้งานการศึกษาทดลองนันมีความหมายต่อผู้เรียนและกิจกรรมต่าง ๆ มีการท้าทายความคิดอันจะนำไปสู่การค้นคว้าที่ซับซ้อนขึ้นได้ ในด้านหลักการนั้นอาศัยการสอนการทดลองประกอบด้วยสาระสำคัญ ดังนี้

2.5.2.1.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนของการดำเนินงาน และการให้ข้อมูลที่เหมาะสมในด้านวิชาการ

2.5.2.1.2 การรวมกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อพัฒนาความรู้ และทักษะให้มากที่สุด

2.5.2.1.3 การสร้างแรงจูงในและส่งเสริมความสามารถทางความคิด องค์ประกอบ ผู้สร้างใบงานควรที่จะนำมาพิจารณาสร้างใบงานให้มีโครงสร้างรูปแบบต่าง ๆ กันนั้นขึ้นอยู่กับ ลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

ก) ลักษณะของเนื้อหาวิชาทีเรียน (Subject Matter)

ข) ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน (Entry Behavior)

ค) คุณสมบัติของผู้สอน (Teacher Characteristics)

ง) คุณสมบัติของผู้เรียน (Student Characteristics)

จ) อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง (Resources Constraint)

2.5.2.2 องค์ประกอบของใบงานใบงานอาจมีรูปแบบแตกต่างกันไป ตามแบบแผนของแต่ละสถาบันแต่ละแห่ง โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของใบงานอาจจะจัดในลักษณะของการทดลอง (Experimental Format) การสั่งงาน (Assign Mental Format) หรือการวางแผน (Project Planning) โดยทั่วไปนั้นใบงานควรที่จะประกอบด้วยข้อมูลที่มีมากน้อยต่างกันตามความต้องการและธรรมชาติของการทดลองในแต่ละประเภท ดังนี้

2.5.2.2.1 ข้อมูลทั่วไป (Introduction Information) หมายถึงข้อมูลที่แจ้งให้ผู้เรียนได้ทราบเรื่องทั่ว ๆ ไปในการปฏิบัติการงานของการทดลองแต่ละเรื่อง ข้อมูลเหล่านี้ ได้แก่

ก) วัตถุประสงค์ของการทดลองควรควบคุมความสามารถตามองค์ประกอบ (Domain) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และควรประกอบด้วยวัตถุประสงค์ทั่วไปและวัตถุประสงค์เฉพาะที่สนับสนุนกับการทดลองแต่ละเรื่องนั้น ไม่ควรให้มีวัตถุประสงค์ทั่วไปมากนัก

ข) ความจำเป็น และขอบเขตของการทดลอง เป็นข้อมูลเพื่อแสดงผลและประโยชน์ของการฝึกหัดทดลอง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมองเป็นความสำคัญของงานที่กำลังปฏิบัติการ และเกิดแรงจูงใจในการทำงาน นอกจากนั้นยังเป็นการบอกให้ทราบถึงปริมาณและขอบเขตเนื้อหาที่ต้องเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติเกิดความกระตือรือร้นเตรียมตัวได้ถูกต้อง

ค) การวางแผน (Plan and Organizing) เป็นข้อมูลที่ให้แนวคิดสำหรับการดำเนินงานแก่ผู้เรียน ข้อมูลเหล่านี้อาจจะเป็นวงจรที่ทำการทดลอง เครื่องมืออุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ปัญหาและอุปสรรคอาจเกิดขึ้นได้เสมอ

2.5.2.2.2 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทดลองเป็นข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนได้อาศัยเป็นหลักการในการวางแผนและดำเนินงาน และเป็นข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสำรวจ

และปรับปรุง ตัวเองในสิ่งทีขาด เพื่อจะได้เตรียมตัวหาข้อมูลหรือความรู้ ให้พร้อมก่อนลงมือปฏิบัติการการทดลอง ข้อมูลดังกล่าว ได้แก่

ก) ความรู้เกี่ยวกับเครื่องมืออุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะพิเศษของเครื่องมืออุปกรณ์ ข้อควรระวัง

ข) ความรู้ที่ควรมี (Entry Behavior) ควรจะระบุให้ชัดเจนว่าผู้ที่ปฏิบัติการงานที่กำหนดได้นั้น จะต้องมีความรู้ความสามารถหรือประสบการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งมาก่อน ทังนี้เพื่อป้องกันอันตราย หรือความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับสิ่งที่ปฏิบัติงานได้

ค) ความรู้ในเนื้อหาวิชาในการทดลองบางอย่างจำเป็นต้องกล่าวถึงเนื้อหาของการทดลองเพิ่มเติม เพื่อเตือนความทรงจำของผู้ปฏิบัติงาน

2.5.2.2.3 ข้อมูลสำหรับการดำเนินการ (Procedurals Information) เป็นข้อมูล ที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถดำเนินงานตามขั้นตอนที่เหมาะสม หรือตามที่กำหนดให้ในแต่ละเรื่องได้ลักษณะของงานในขั้นตอนนี้ ควรเป็นข้นตอนการลงมือปฏิบัติการจริง ตั้งแต่วางแผนจริง ๆ จากการร่างแบบของงาน การกำหนดวงจร และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง จนกระทั้งถึงวิธีการเก็บข้อมูล

2.5.2.2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับการสรุปผลลัพธ์ และรายงาน (Conclusion and Report) ใบงานจะให้ข้อมูลในลักษณะที่เป็นคำสั่ง หรือคำแนะนำให้ผู้ปฏิบัติแสดงผลลัพธ์อย่างมีระบบ และสามารถสรุปผลการทดลองที่ได้ ตามรูปแบบที่เหมาะสมข้อมูลในใบงานจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติทำรายงาน และสรุปผลการทดลองได้ ลักษณะของข้อมูลอาจจะเป็นคำถามให้คิด หรือหัวข้อให้ผู้เรียนหาข้อมูลสนับสนุน

2.5.2.2.5 ข้อมูลสำหรับการประเมินผล (Assessment Information) หมายถึง ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ความสามารถ และความเข้าใจในเรื่องที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติงานการตรวจสอบเรื่องนี้ อาจทำได้ทั้งทางกว้างและความลึกของเนื้อหา ซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการทดลองแต่ละประเภท อย่างไรก็ตามข้อมูลที่เป็นคำถามในใบงานนั้นอาจจะเป็น ลักษณะของคำถามที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

ก) ถามการประเมิน (Assessment Question)

ข) คำถามการวิเคราะห์ (Critical Question)

2.5.2.3 รูปแบบของใบงาน หมายถึง เค้าโครงของใบงานที่ในการสอนแบบการทดลอง โดยสรุปแล้วใบงานที่ใช้กันอยู่จะมี 3 รูปแบบ ดังนี้

2.5.2.3.1 การทดลอง (Experimental Format) ใบงานประเภทนี้จะให้รายละเอียดในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนโดยตลอด เพื่อที่จะนำผู้เรียนให้ทำการทดลองตามที่กำหนดโดยที่ผู้ปฏิบัติงานไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการคิดหาวิธีการทดลองด้วยตนเอง จุดประสงค์ของ

การทดลองประเภทนี้เหมาะสมที่จะใช้กับการทดลองประเภทตามตำรา และการค้นคว้า (Discovery) โครงสร้างของการทดลองแบบนี้ประกอบด้วยสาระสำคัญดังนี้

ก) วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการทดลอง

ข) ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับปัญหาหรือสิ่งที่ต้องการวัด

ค) ลำดับขั้นการทดลองที่ละเอียด และเป็นขั้นเป็นตอนอย่างเหมาะสม) คำถามเพื่อให้ผู้ปฏิบัติใช้ความคิดตรึกตรองดำเนินการทดลอง หรือแปลความหมายของข้อมูลสำหรับคำถามนี้

2.5.2.3.2 การส่งงาน (Assign Mental Format) รูปแบบของการทดลองที่ให้อิสระในการทดลองตามความคิดของตนเองรูปแบบของใบงาน จะระบุปัญหาหรือสิ่งที่ต้องการให้ค้นหา ข้อเท็จจริงโดยการให้ข้อมูลในการปฏิบัติตามขั้นตอนที่ได้วางไว้กว้างๆ โดยทั่วไปแล้วการทดลองใน ลักษณะนี้จะจำกัดข้อมูลเกี่ยวกับการตัดสินใจในการดำเนินตามขันตอนต่าง ๆ โดยจะให้อยู่ในดุลยพินิจ ของผู้ปฏิบัติได้ทดลองมากกว่าแบบการทดลอง (Experimental Format) ข้อมูลของการสั่งงาน (Assign Mental Format) ดังกล่าวประกอบด้วย

ก) ลักษณะของปัญหาที่ต้องให้แก้หรือทำการทดลองหาคำตอบ

ข) คำถามที่ต้องการให้คำตอบหรือหาข้อมูลสนับสนุน

ค) ข้อมูลที่ต้องการให้สังเกต

2.5.2.3.3 การวางแผน (Project Planning Format) ลักษณะของใบงานเป็นลักษณะที่ให้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำงาน ซึ่งอาจจะเป็นการทดลองหาข้อมูลบางอย่าง หรือการสร้างผลงานตามรูปแบบที่เป็นผลลัพธ์สำเร็จรูป และการทดลองประเภทนี้ จะให้ข้อมูลหรือคำสั่งเท่าที่จะนำผู้เรียนให้สามารถสร้างกระบวนการทำงานของตนเอง ตั้งแต่การวางแผน การใช้อุปกรณ์เครื่องมือการทดสอบจนกระทั่งการนำเสนอผลงาน ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ใช้ความสามารถส่วนตัวในการประยุกต์ความรู้สร้างผลงานสำเร็จรูปแบบภายในขอบเขตที่กำหนด ใบงานในรูปแบบนี้จะประกอบด้วย

ก) ลักษณะสาระสำคัญของปัญหา หรือรายละเอียดของงานที่ต้องการให้ปฏิบัติ

ข) ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ค) คำถามหรือหัวข้อที่ต้องการทราบเกี่ยวกับวิธีดำเนินการ

ง) รายละเอียดของผลลัพธ์ (Product Description)

จ) หัวข้อของการรายงานที่ต้องการทราบ

การสร้างใบงานทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดก็ตามต้องการความรอบคอบ ในการพิจารณาเพื่อสร้างระบบให้ผู้ปฏิบัติสามารถใช้ข้อมูลที่ให้ และหลักการที่เกี่ยวข้องเข้ามาประยุกต์

ในการปฏิบัติการงานจนเป็นผลสำเร็จ โดยที่ผู้ควบคุม หรือผู้สอนไม่ต้องคอยติดตามดูแลอย่าง ใกล้ชิดเกินไปการสร้างใบงานที่ขาดความรอบคอบในการพิจารณานั้น นอกจากจะสร้างความ สับสนให้แก่ผู้เรียนทำให้ไม่สามารถพัฒนาความสามารถได้ ตามวัตถุประสงค์แล้วอาจจะเป็นปัญหา ในการควบคุมดูแลของผู้สอนอีกด้วย

2.5.2.4 คุณสมบัติที่ดีของใบงานตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ใบงานนั้นมีลักษะรูปแบบที่เป็นแม่บทอยู่ 3 รูปแบบด้วยกัน อย่างไรก็ตามในการทดลองจริง อาจจะเป็นความแตกต่างของรูปแบบใบงาน และการจำแนกประเภทของการทดลองได้ยาก เพราะใบงานที่ใช้กันในสถาบันหนึ่งนั้นอาจจะเป็นได้ทั้งแบบตำรา และแบบแก้ปัญหา หรือประเภทอื่นๆ รวมกันก็ได้อย่างไรก็ดี ใบงานไม่ว่าจะเป็นแบบไหนรูปแบบใดก็ตาม มีหลักในการพิจารณาสำหรับสร้างใบงานที่ดี ดังต่อไปนี้

2.5.2.4.1 ใช้ภาษาง่ายรัดกุมและตรงไปตรงมา (Simple Concise and Direction) พยายามหลีกเลียงภาษาพูดหรือสำนวนท้องถิ่น

2.5.2.4.2 มีรูปประกอบ (Sketches) ที่ให้สามารถเป็นรูปพจน์ของงานได้ดีขึ้น

2.5.2.4.3 การให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานควรจัดขันตอนที่ชัดเจนและมีลำดับที่เหมาะสม

2.5.2.4.4 พยายามแยกแยะข้อมูลที่ชัดเจนโดยมีการแบ่งย่อหน้า (Paragraph) ตามสาระสำคัญของเรื่องมีการเว้นระยะของเรื่องที่ต้องการเน้นประเด็นสำคัญ

2.5.2.4.5 มีการขีดเส้นใต้หรือเน้นจุดสำคัญเป็นพิเศษด้วยวิธีการที่เหมาะสม

2.5.2.4.6 พยายามใช้คำสั่งที่สม่ำเสมอ (Consistency)

2.5.2.4.7 พยายามแยกแยะเรื่องที่คลุมเครือ (Irrelevant Material) หรือเรื่องที่ซับซ้อนที่หลีกเลียงได้ออกต่างหากเพื่อให้รูปชัดเจนขึ้น

2.5.2.4.8 พยายามใช้รูปแบบของการทดลองรูปแบบของการรายงานและขั้นตอนของการดำเนินงานตามรูปแบบที่รู้จักกัน หรือเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

2.5.2.5 กรรมวิธีการสร้างใบงานนั้นเป็นกระบวนการเกี่ยวข้องกับกิจกรรมหลายชนิดอาศัยบุคลากรหลายประเภท และต้องติดต่อกับหน่วยงานต่าง ๆ เป็นจำนวนมากเท่าที่สรุปได้ควรมีความสัมพันธ์กับสิ่งต่อไปนี้

2.5.2.5.1 องค์ประกอบที่เกี่ยวกับการสร้างใบงาน สาระสำคัญของใบงานคือการจัดกิจกรรมที่เหมาะสมในการทดลอง เพื่อประโยชน์ในการเสริมสร้างความรู้ ความสามารถและทัศนคติ ให้เกิดขึ้นมากที่สุดที่จะทำได้กิจกรรมในการทดลองจะเป็นในรูปลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเหล่านี้

ก) เนื้อหาวิชาและหลักสูตร

ข) อุปกรณ์การสอนที่ช่วยพัฒนาความรู้ความสามารถที่จำเป็น

ค) ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทดลอง

ง) ความคล่องตัว และความสมบูรณ์ของระบบอุปกรณ์เครื่องมือและวัสดุ

จ) แบบแผนการประเมินผล (Evaluation Scheme)

องค์ประกอบ ดังกล่าวนี่มีอิทธิพลต่อการจัดกิจกรรมภายในการทดลองอย่างมาก

2.5.2.5.2 ชนิดของกิจกรรมภายในการทดลองอาจกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าการจัดทำใบงานเพื่อการสอนนั้นมีเป้าหมายในการพัฒนาสิ่ง ต่อไปนี้

ก) พัฒนาความเข้าในแนวความคิด และหลักการของปัญหาต่าง ๆ ในลักษณะการทำงานด้วยตนเอง (Learning Doing)

ข) ให้รู้จัก และคุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ

ค) พัฒนาความสามารถในการค้นหาข้อมูลบางอย่าง (Develop Specific Skills)

ง) ความสามารถในการทดสอบ (Testing Skills) ความสามารถดังกล่าวนี่ มีวิธีการที่พัฒนาได้จากการจัดกิจกรรม การสร้างเหตุการณ์จำลองอย่างเหมาะสม

2.5.2.5.3 กระบวนการของการสร้างการทดลอง สร้างใบงานในระบบที่สมบูรณ์ของสถาบันการศึกษานั้น ต้องอาศัยการทำงานที่มีขั้นตอน อาศัยบุคลากรหลายฝ่าย และต้องใช้เวลาความประณีตในการพิจารณาเลือกสรรข้อมูล และกิจกรรมที่เหมาะสมเป็นอย่างมาก ดังขั้นตอนคร่าว ๆ ต่อไปนี้

ก) การตั้งทีมงานบุคลากรในการสร้างใบงานควรจะมีความรู้และประสบการณ์ ทั้งในด้านวิชาการ และวงการอุตสาหกรรม

ข) การวิเคราะห์เนื้อหาเป็นการศึกษาวิชาที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาหัวข้อที่เหมาะสมในการจัดกิจกรรม

2.6 การประเมินคุณภาพชุดฝึก

วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 131) ได้เกริ่นนำเรื่องการประเมินสื่อการสอนว่า การออกแบบสร้างสื่อการสอน ให้มีความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค (Technical Points of View) ด้านการเรียนการสอน (Pedagogical Points of View) และด้านการพาณิชย์หรือการค้า (Economical Points of View) จะทำให้ได้อย่างไร เราสามารถทราบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ โดยการประเมินสื่อการสอนนั้น ซึ่งอาจทำควบคู่ในระหว่างกระบวนการออกแบบหรือเมื่อสิ้นสุดการออกแบบสำเร็จเป็นงานต้นแบบ ก่อนดำเนินการผลิตออกมาในเชิงพาณิชย์

2.6.1 วัตถุประสงค์ในการประเมินสื่อการสอน

การประเมินสื่อการสอนมีวัตถุประสงค์ดังนี้ (วัลลภ, 2543)

2.6.1.1 เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้อดี ข้อเสีย ในด้านต่างๆ ของสื่อการสอน

2.6.1.2 นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินไปแก้ไขพัฒนาปรับปรุงสื่อการสอนนั้น

2.6.1.3 วางแผนในการพัฒนาสื่อการสอนเพิ่มเติมให้เกิดความสมบูรณ์ ในการเรียนการสอนตามหัวข้อ หรือสาขาวิชานั้น

2.6.2 ประเด็นในการประเมิน

ประเด็นในการประเมินอาจแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านเทคนิค ด้านการเรียนการสอนและด้านการพาณิชย์ ในแต่ละประเด็นสามารถแตกแยกออกเป็นประเด็นย่อย การคิดค้นประเด็นต่างๆ อาจใช้แผนภูมิปะการังเป็นเครื่องมือ ร่วมประชุม ระดมความคิด หรืออาจค้นคว้าประเด็นได้จากงานวิจัยต่าง ๆ ด้านการประเมินสื่อการสอน ประเด็นที่นำเสนอนี้เป็นประเด็นหลัก ๆ สามารถเลือกไปใช้กับสื่อประเภทต่าง ๆ ได้ และจะเขียนในลักษณะด้านบวก หรืออุดมคติ (วัลลภ, 2543)

2.6.2.1 ประเด็นด้านเทคนิค มีประเด็นด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.6.2.1.1 ขนาดสื่อไม่ใหญ่ ไม่เล็ก มีขนาดเหมาะสม สอดคล้องกับมาตรฐานสะดวกต่อการเก็บรักษาไม่ใช่เนื้อที่ มากเกินไป

2.6.2.1.2 น้ำหนักมีน้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้สอนได้สะดวก ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ขนย้าย ผู้สอนนำไปใช้ได้ด้วยตนเอง

2.6.2.1.3 ชิ้นส่วนประกอบ ทำหน้าที่ได้ถูกต้องแม่นยำ นอกจากทำหน้าที่หลักสามารถทำหน้าที่รอง มีรูปร่างง่ายต่อการผลิต เป็นมาตรฐาน หาอะไหล่ง่าย มีจำนวนชิ้นไม่มาก การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน มั่นคงรูปร่างมีความแข็งแรง คงทน มีอายุการใช้งาน เหมาะสม มีความเรียบร้อยสวยงาม

2.6.2.1.4 ชนิดของวัสดุ มีคุณสมบัติเหมาะสมกับประเภทสื่อ และเป็นวัสดุที่หาง่าย คุณสมบัติวัสดุมีความแข็งแรง คงทน ราคาไม่แพง ทนต่อความร้อน ฝุ่น ความชื้น

2.6.2.1.5 การดูแลรักษา และง่ายต่อการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง และมีระบบการจัดเก็บ การจัดจำแนก มีถุง ซอง กล่อง ใน การจัดเก็บ มีระบบการเบิก ยืม ที่มีประสิทธิภาพไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา

2.6.2.1.6 กระบวนการผลิต ที่ผลิตง่ายใช้เครื่องมือที่ง่ายๆ และที่มีระบบแบบแผน ระบบมาตรฐานวัสดุ (หมายเลขวัสดุ) ผลิต ออกมาเรียบร้อยสวยงาม สอดคล้องตามหลักการสอน สามารถใช้สอนกับวิธีการต่าง ๆ นำความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีมาใช้ชิ้นงานออกมามีขนาดคุณภาพผิวงานมีความละเอียดสูง

2.6.2.1.7 มาตรฐานสอดคล้องกับมาตรฐานในหน่วยงานมีความเป็นสากลมีรูปแบบ (Format)

2.6.2.1.8 ความปลอดภัย มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ และต่อสื่อ

2.6.2.2 ประเด็นทางด้านการเรียนการสอน จะเกี่ยวข้องกับผู้สอนผู้เรียน และตัวสื่อเองดังนี้

2.6.2.2.1 ต่อผู้สอน ใช้ง่าย ใช้เวลาในการสอนน้อย ไม่มีความจำเป็นต้องฝึกอบรมด้านการใช้ สอดคล้องตาม รายการวัตถุประสงค์ และเนื้อหาวิชา มีคู่มือการสอน สำหรับครู

2.6.2.2.2 ต่อผู้เรียน เข้าใจง่าย สอดคล้องกับพื้นฐานความรู้ และประสบการณ์ผู้เรียนเกิดความเร้าใจ น่าสนใจ อยากเรียน กระตุ้นให้ค้นคว้าเพิ่มเติม เกิดความคิดสร้างสรรค์ สามารถนำไปประยุกต์ แก้ปัญหา ช่วยส่งเสริม กิจกรรมการเรียน มีคู่มือผู้เรียน

2.6.2.2.3 ต่อสื่อการสอน มีสื่อการสอนที่มีความสำคัญต่อเนื้อหานั้น ๆ และควรมีอย่างยิ่ง มีความสำคัญต่อการเรียนรู้มี เนื้อหาสาระที่ทันสมัยตามวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถนำไปใช้สอนในหัวเรื่องอื่นได้ด้วย ให้เนื้อหาสาระชัดเจนในตัว ไม่ต้องอธิบายเพิ่มเติมมาก ใช้เวลาในการประกอบน้อย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์อื่นประกอบช่วย มีคู่มือแนะนำในการใช้การดูแลรักษา ต้องมีซอฟท์แวร์ (Software) ประกอบ ตัวอักษร สีสัน รูปแบบ ชัดเจน

2.6.2.3 ประเด็นทางพาณิชย์

เป็นการศึกษาข้อมูลก่อนดำเนินการผลิต ได้ค่าตัวเลขที่ถูกต้องแม่นยำ มีความน่าเชื่อถือประกอบการตัดสินใจ ก่อนเริ่มงานออกแบบ ไม่ใช่ใช้การประเมินด้วยความรู้สึก มีประเด็นต่างๆ

2.6.2.3.1 เป็นสื่อที่ตลาดมีความต้องการสูง

2.6.2.3.2 ความเหมาะสมในการผลิตเชิงพาณิชย์

2.6.2.3.3 ค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าออกแบบ ค่าบริการ ค่าวัสดุ เป็นต้น

2.6.2.3.4 ค่าเครื่องมือ

2.6.2.3.5 ค่าคุ้มทุนในการผลิต

2.6.2.3.6 ราคาสื่อเหมาะสม สามารถเทียบกับคู่แข่ง

2.6.2.3.7 ปริมาณด้านการตลาด การจำหน่ายในระดับท้องถิ่น ภูมิภาค

2.6.2.3.8 เอกสารในการประชาสัมพันธ์

2.6.3 เกณฑ์ในการประเมินสื่อการเรียนการสอน

เมื่อกำหนดประเด็นต่าง ๆ ที่จะประเมินสื่อแล้วก็ต้องมากำหนดเกณฑ์ในการประเมิน ซึ่งมีสิ่งที่ควรพิจารณา ดังนี้ (วัลลภ, 2543 : 135)

2.6.3.1 เกณฑ์ที่กำหนดจะเน้นคุณลักษณะไปด้านใด เช่น ด้านเทคนิค ด้านการเรียนการสอนหรือ ด้านพาณิชย์ หรือจะให้น้ำหนักเท่ากันทั้ง 3 ด้าน เป็นต้น

2.6.3.2 ในแต่ละประเด็นอาจประเมิน โดยทำเป็นรายการตรวจสอบ (Check list) ว่าใช่หรือไม่ใช่ มีหรือไม่มี มีคำตอบให้เลือกสองทางเลือก อีกลักษณะหนึ่งเป็นการให้ความคิดว่าคุณลักษณะด้านนั้น ๆ ดีมาก ดี พอใช้ ใช้ไม่ได้ เป็นต้น

2.6.3.3 จากผลการประเมิน ในข้อ 2 นำมาประเมินผลโดยใช้หลักทางสถิติเป็นร้อยละหรือ เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละประเด็น หรือลักษณะภาพรวม

การประเมินจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นอกจากนั้นค่าที่ได้ควรมีความเชื่อมั่นเที่ยงตรง มีเป้าหมาย มีความชัดเจน น่าเชื่อถือ สามารถคำนวณและปฏิบัติได้ หน่วยงานคือทีมทำงานจะต้องกำหนดเกณฑ์เพื่อจะประเมินสื่อการสอนได้ผลสำเร็จตามเป้าหมาย

2.6.4 องค์ประกอบในการประเมินสื่อ

นอกจากการกำหนดเกณฑ์แล้ว ก็ควรคำนึงถึงองค์ประกอบในการประเมินสื่อซึ่งมีหลายประการ ได้แก่ (วัลลภ, 2543 : 135-136)

2.6.4.1 เครื่องมือเป็นเอกสารหรืออุปกรณ์ที่สามารถบันทึกแสดงข้อมูลที่จะได้จากการประเมินสื่อ ว่าอยู่ในระดับใด ควรมีการทดลองใช้ วิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น ค่าความเที่ยงตรงมีการพัฒนาปรับปรุง เครื่องมือให้เหมาะสม

2.6.4.2 วิธีการประเมิน โดยกำหนดประเด็นต่าง ๆ แล้วให้คะแนนในประเด็นนั้น ๆ วิธีการประเมินโดยใช้ความรู้สึกอาจขาดความเชื่อถือ มีคำแนะนำขั้นตอนในการประเมิน

2.6.4.3 เกณฑ์การกำหนดระดับค่าคะแนน ว่าระดับใดที่จะยอมรับได้ ขึ้นกับเป้าหมายว่าต้องการ เน้นด้านใด หน่วยงานเอกชนอาจมุ่งทางการค้า หน่วยงานการศึกษาอาจมุ่งด้านการเรียนการสอน

2.6.4.4 ผู้ประเมินทำหน้าที่ใช้เครื่องมือ อาจเป็นบุคคลใน และภายนอกหน่วยงานเป็นผู้เชี่ยวชาญมี ประสบการณ์ และมีจำนวนเหมาะสม มาจากหลาย ๆ ฝ่าย เช่น ฝ่ายตลาด ฝ่ายผลิต เป็นต้น มีความเข้าใจใน วิธีการประเมิน

2.6.4.5 ผู้สอน ผู้ทำหน้าที่สอนโดยใช้สื่อการสอนนั้น ก็เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประเด็นการประเมิน ที่ผู้ประเมินมีข้อมูลเกี่ยวกับผู้สอนอย่างไร

2.6.4.6 ผู้เรียน ผู้ประเมิน หรือแบบประเมิน มีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับผู้เรียนอย่างไร คาดการณ์ว่า ผู้เรียนจะมีพื้นฐาน มีการเรียนรู้ ประสบการณ์เพียงใด และต้องการคาดหวังต่อผู้เรียนอย่างไร

2.6.4.7 เนื้อหาวิชา เป็นสาขาวิชาใด มีรายการ วัตถุประสงค์ของบทเรียนอย่างไร

2.6.4.8 ประเภทของสื่อ สื่อมีความแตกต่างกันหลายประเภท เช่น เอกสารสิ่งพิมพ์ แผ่นใส แผ่น ภาพอุปกรณ์ทดลองสาธิต แผ่นดิสก์ ซีดี เป็นต้น ประเด็นการประเมินก็จะแตกต่างกัน

2.6.5 ความตรง (Validity)

ความตรงหรือความเที่ยงตรง หมายถึง ความสามารถวัดในสิ่งที่ต้องการจะวัด เช่น จะวัดเรื่องความซื่อสัตย์ ตัวคำถามในแบบสอบถามต้องเป็นเรื่องที่แสดงออกถึงความซื่อสัตย์ หรือหากสอนเรื่องเศษส่วน แบบทดสอบวัดเรื่องเศษส่วน

2.6.5.1 การสร้างเครื่องมือให้มีความตรง ควรถือหลักปฏิบัติดังนี้

2.6.5.1.1 การเขียนข้อความ ให้คำนึงถึงหลักตรรกวิทยา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากที่สุดว่าสิ่งที่เราเขียนอยู่ในความหมายของสิ่งที่เราต้องการจะวัดหรือไม่

2.6.5.1.2 ให้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ ด้วยว่า ข้อความที่สร้างเหมาะสมหรือไม่ ครอบคลุมสิ่งที่เราต้องการจะวัดมากน้อยเพียงใด

2.6.5.2 การหาค่าความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validir)

ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validir) หมายถึง การที่เครื่องมือวัดมีข้อคำถามตรงตามเรื่องที่ต้องการจะวัด วิธีการวิเคราะห์จะดำเนินการหลังจากได้สร้างเครื่องมือวัดแล้วโดยมีวิธีการ ดังนี้

2.6.5.2.1 ให้ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้มีประสบการณ์ในรายวิชานั้นอย่างน้อย 3 คน ช่วยประเมินเป็นรายบุคคลว่าข้อคำถามแต่ละข้อสามารถวัดได้ตรงกับจุดประสงค์ที่กำหนดหรือไม่ โดยให้คะแนนตามเกณฑ์

2.6.5.2.2 ถ้าข้อคำถามวัดได้ตรงจุดประสงค์ ให้คะแนน +1 คะแนน ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดตรงจุดประสงค์หรือไม่ ให้คะแนน 0 คะแนน หรือถ้าข้อคำถามวัดได้ไม่ตรงจุดประสงค์ ให้คะแนน -1 คะแนน

2.6.5.2.3 นำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญทุกคนที่ประเมินมากรอกลงในแบบวิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อคำถามกับจุดประสงค์เพื่อหาค่าเฉลี่ย สำหรับข้อคำถามแต่ละข้อ

2.6.5.2.4 เกณฑ์การคัดเลือกข้อคำถาม

ก) ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 - 1.00 คัดเลือกไว้ใช้ได้

ข) ข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ควรพิจารณาปรับปรุงหรือตัดทิ้ง

2.7 การประเมินความพึงพอใจ

2.7.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจ

สมยศ นาวีการ (2545,8) ได้ให้ความคิดเห็นว่า ความพึงพอใจในการติดต่อสื่อสารขึ้นอยู่กับสิ่งที่บุคคลได้มา เปรียบเทียบกับสิ่งที่บุคคลต้องการ ความพึงพอใจไม่ควรผูกอยู่กับความมีประสิทธิภาพของข่าวสารใด ๆ ถ้าหากว่า การติดต่อสื่อสารเป็นไปตามความต้องการความพึงพอใจการติดต่อสื่อสารจะเกิดขึ้นเราอาจจะรู้สึกต้องการข่าวสารบางอย่าง หรือเสนอข่าวสารตามแนวทางบางอย่างของเรา

เมื่อข่าวสารถูกสื่อสารตามแนวทางที่สอดคล้องกับความรู้สึกของเรา เราจะมีความพึงพอใจการติดต่อสื่อสาร

นักวิชาการ การสื่อสารได้สร้างแนวคำถามเพื่อวัดปัจจัยที่สร้างความพึงพอใจในการติดต่อสื่อสารในองค์กรประกอบไปด้วยลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังต่อไปนี้ (สมยศ นาวีการ, 2545.578-10)

2.7.1.1 ความพึงพอใจในความเพียงพอของข่าวสาร ปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย ระดับความพึงพอใจ ข่าวสารเกี่ยวกับนโยบาย เทคนิคใหม่ ๆ การเปลี่ยนแปลงทางการบริหารงานในอนาคต และผลการปฏิบัติงานส่วนบุคคล ความพึงพอใจข่าวสารเกี่ยวกับองค์กรที่ได้รับ จึงมีความสำคัญต่อแนวความคิดของความพึงพอใจ ในการติดต่อสื่อสารขององค์กร

2.7.1.2 ความพึงพอใจความสามารถเสนอแนะ ปรับปรุงให้ดีขึ้นของบุคคล ปัจจัยดังกล่าวนี้ ประกอบด้วย สิ่งต่าง ๆ เช่น สถานที่ของการติดต่อสื่อสารควรจะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และกลยุทธ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงความพึงพอใจ ประเภทของการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงถูกดำเนินการ

2.7.1.3 ความพึงพอใจความมีประสิทธิภาพของช่องทางการติดต่อสื่อสารต่าง ๆ ปัจจัยดังกล่าวนี้ประกอบด้วย วิธีการเผยแพร่ข่าวสารภายในองค์กร เช่น หนังสือพิมพ์ บันทึก แถลงการณ์ และเอกสารลายลักษณ์อักษรอื่น ๆ ความพึงพอใจในการติดต่อสื่อสาร เกี่ยวพันกับการมองของบุคคลว่าสื่อกลางขององค์กรถูกใช้ในการเผยแพร่ข่าวสารอย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด

2.7.1.4 ความพึงพอใจคุณภาพของสื่อกลาง ปัจจัยดังกล่าว ได้แก่ เอกสารลายลักษณ์อักษรใช้ถ้อยคำดี คุณค่าของข่าวสารที่ได้รับ และการมาถึงของข่าวสารอย่างทันท่วงที ปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อความพึงพอใจของบุคคลต่อการสื่อสารในองค์กรความพึงพอใจวิธีการติดต่อสื่อสารกับเพื่อนร่วมงาน ปัจจัยดังกล่าวนี้ประกอบด้วยการติดต่อสื่อสารตามแนวนอน การติดต่อสื่อสารที่ไม่เป็นทางการ และระดับความพึงพอใจที่ได้รับจาก การอภิปราย และการได้รับข่าวสารจากเพื่อนร่วมงาน ปัจจัยเหล่านี้แสดงความหมายว่า ความพึงพอใจการติดต่อสื่อสารในองค์กรเกี่ยวกับความพึงพอใจความสัมพันธ์ระหว่างเพื่อนร่วมงาน ในเรื่องข่าวสารที่อยู่ในสภาพแวดล้อมขององค์กรนั้น

2.7.2 การวัดความพึงพอใจ

ประภาพันธ์ พลายจันทร์ (2546 : 6) กล่าวว่า การวัดความพึงพอใจนั้น สามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.7.2.1 วิธีการใช้แบบสอบถาม โดยผู้ออกแบบสอบถามถามเพื่อต้องการทราบความคิดเห็น ซึ่งสามารถกระทำได้ในลักษณะกำหนดคำตอบให้เลือก หรือตอบคำถามอิสระ คำถามดังกล่าวอาจจะถามความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ

2.7.2.2 วิธีการสัมภาษณ์ เป็นวิธีการวัดความพึงพอใจทางตรง ซึ่งต้องอาศัยเทคนิคและวิธีการที่ดีจึงจะได้ข้อมูลที่เป็นจริง

2.7.2.3 วิธีการสังเกต เป็นวิธีการวัดความพึงพอใจ โดยการสังเกตพฤติกรรมของบุคคลเป้าหมาย ไม่ว่าจะแสดงออกจากการพูด กิริยาท่าทาง วิธีนี้ต้องอาศัยการกระทำอย่างจริงจังและสังเกตอย่างมีระแบบแบบแผน

2.7.3 การสร้างและหาคุณภาพแบบสอบถามความพึงพอใจ

ศูนย์การเรียนรู้ทางการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (2558 : 1-12) ได้นำเสนอหลักการสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

2.7.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน โดยทั่วไปมี 2 ประเภท คือ

2.7.3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง (Experimental Tool/Research Tool) สำหรับการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน เครื่องมือประเภทนี้เป็น "นวัตกรรม (Innovation)" สำหรับพัฒนา ตัวแปรตาม หรือเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดกระทำ (Treatment) เพื่อพัฒนาตัวแปรตาม

2.7.3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล (Data Colletion Instrument) สำหรับการวิจัย เพื่อพัฒนาการเรียนการสอน เครื่องมือประเภทนี้เป็นเครื่องมือวัดตัวแปรตาม

2.7.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยมีหลายประเภท อาจจะเป็นเครื่องมือวิจัยที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาใหม่ หรือคัดแปลงเครื่องมือของผู้อื่นที่ศึกษาวิจัยในเรื่องที่คล้ายกัน หรืออาจจะใช้เครื่องมือที่มีผู้อื่นสร้างไว้แล้วทั้งหมดเลยก็ได้ ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย เช่น แบบทดสอบ แบบสังเกตพฤติกรรม แบบสัมภาษณ์ แบบตรวจสอรายการ แบบสอบถาม แบบบันทึกข้อมูล แบบสำรวจ เป็นต้น

2.7.3.3 การเขียนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยการเขียนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ต้องระบุรายละเอียด 2 ส่วน คือ

2.7.3.3.1 รายละเอียดของเครื่องมือ คือ ระบุประเภท ลักษณะ ส่วนประกอบรวมทั้งอาจอ้างอิง ถึงแนวคิดหรือทฤษฎีตามลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.7.3.3.2 วิธีการสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ เป็นการระบุขั้นตอนการสร้าง และวิธีการหาคุณภาพของเครื่องมืออย่างละเอียด

2.7.3.4 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัยโดยทั่วไป

เครื่องมือในการวิจัยโดยทั่วไปมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

2.7.3.4.1 ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่มีความใกล้เคียงกับเรื่องที่วิจัย

2.7.3.4.2 กำหนดเครื่องมือที่จะใช้รวบรวมข้อมูลว่าควรเป็นเครื่องมือประเภทใดบ้าง

2.7.3.4.3 ศึกษาวิธีการสร้างเครื่องมือที่จะใช้ในการวิจัย (ตามข้อ 2.7.3.4.2) โดยศึกษาจากตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.7.3.4.4 กำหนดวัตถุประสงค์ของการสร้างเครื่องมือดังกล่าว

2.7.3.4.5 ระบุเนื้อหา และประเด็นหลักที่มีความครอบคลุมวัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.7.3.4.6 สร้างเครื่องมือตามประเด็น และเนื้อหาในข้อ 2.7.3.4.5

2.7.3.4.7 นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา

2.7.3.4.8 ปรับปรุงเครื่องมือตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

2.7.3.4.9 จัดทำเครื่องมือให้สมบูรณ์ เช่น หากเป็นแบบสอบถามก็ควรจัดพิมพ์ให้ถูกต้องตาม ลักษณะของแบบสอบถาม ให้มีลักษณะสมบูรณ์สามารถที่จะนำไปใช้ได้เลย

2.7.3.4.10 ทดลองใช้เครื่องมือดังกล่าว โดยการนำเครื่องมือไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ศึกษาในการวิจัย เพื่อนำผลการทดสอบใช้ มาตรวจสอบหาคุณภาพ เช่น การหาค่าความยากง่าย อำนาจจำแนก ความตรง และความเที่ยง ของเครื่องมือ

2.7.3.4.11 นำผลที่ได้จากข้อ 2.7.3.4.11 มาเป็นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องมือให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น หากเป็นไปได้ก็ควรที่จะให้ผู้เชี่ยวชาญได้ช่วยพิจารณาอีกครั้งหนึ่งก็จะทำให้ได้เครื่องมือที่มีคุณภาพ

2.7.3.4.12 จัดพิมพ์เครื่องมือวิจัยฉบับสมบูรณ์ พร้อมทั้งจัดทำคู่มือการใช้เครื่องมือดังกล่าวด้วย

2.8 การหาประสิทธิภาพชุดฝึก

2.8.1 ความหมายของการทดสอบประสิทธิภาพ

2.8.1.1 ความหมายของประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง สภาวะ หรือคุณภาพ ของสมรรถนะในการดำเนินงาน เพื่อให้งานมีความสำเร็จโดยใช้เวลา ความพยายาม และค่าใช้จ่ายคุ้มค่าที่สุดตามจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้

เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ โดยกำหนดเป็นอัตราส่วน หรือร้อยละระหว่างปัจจัยนำเข้า กระบวนการ และผลลัพธ์ (Ratio between input, process and output) เน้นการดำเนินการที่ถูกต้องหรือกระทำสิ่งใดๆ อย่างถูกวิธี (Doing the thing right)

2.8.1.2 ความหมายของการทดสอบประสิทธิภาพ

สำหรับการผลิตสื่อ และชุดการสอนการทดสอบประสิทธิภาพ หมายถึง การนำสื่อหรือ ชุดการสอนไปทดสอบด้วยกระบวนการสองขั้นตอน คือ การทดสอบประสิทธิภาพใช้เบื้องต้น (Try Out) และทดสอบประสิทธิภาพสอนจริง (Trial Run) เพื่อหาคุณภาพของสื่อตามขั้นตอนที่กำหนดใน 3 ประเด็น คือ การทำให้ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้น การช่วยให้ผู้เรียนผ่านกระบวนการเรียน และทำแบบประเมินสุดท้ายได้ดี และการทำให้ผู้เรียนมีความพึงพอใจ นำผลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไข ก่อนที่จะผลิตออกมาเผยแพร่เป็นจำนวนมาก

2.8.1.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพใช้เบื้องต้น

เป็นการนำสื่อหรือชุดการสอนที่ผลิตขึ้นเป็นต้นแบบ (Prototype) แล้วไปทดลอบประสิทธิภาพใช้ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในแต่ละระบบ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของสื่อหรือชุดการสอนให้เท่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และปรับปรุงจนถึงเกณฑ์

2.8.1.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

สอนจริง หมายถึง การนำสื่อหรือชุดการสอนที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพใช้และปรับปรุงจนได้คุณภาพถึงเกณฑ์แล้วของแต่ละหน่วย ทุกหน่วยในแต่ละวิชาไปสอนจริงในชั้นเรียนหรือในสถานการณ์การเรียนที่แท้จริงในช่วงเวลาหนึ่ง อาทิ 1 ภาคการศึกษาเป็นอย่างน้อย เพื่อตรวจสอบคุณภาพเป็นครั้งสุดท้ายก่อนนำไปเผยแพร่และผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก

2.8.2 การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ

2.8.2.1 ความหมายของเกณฑ์ (Criterion)

เกณฑ์เป็นขีดกำหนดที่จะยอมรับว่า สิ่งใดหรือพฤติกรรมใดมีคุณภาพ และหรือปริมาณที่จะรับได้การตั้งเกณฑ์ ต้องตั้งไว้ครั้งแรกครั้งเดียว เพื่อจะปรับปรุงคุณภาพให้ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำที่ตั้งไว้ จะตั้งเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพไว้ต่างกันไม่ได้ เช่นเมื่อมีการทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว ตั้งเกณฑ์ไว้ 60/60 แบบกลุ่ม ตั้งไว้ 70/70 ส่วนแบบสนาม ตั้งไว้ 80/80 ถือว่า เป็นการตั้งเกณฑ์ที่ไม่ถูกต้อง อนึ่งเนื่องจากเกณฑ์ที่ตั้งไว้เป็นเกณฑ์ต่ำสุด ดังนั้น หากการทดสอบคุณภาพของสิ่งใด หรือพฤติกรรมใดได้ผลสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 หรืออนุโลมให้มีความคลาดเคลื่อนต่ำหรือสูงกว่าค่าประสิทธิภาพที่ตั้งไว้เกิน 2.5 ก็ให้ปรับเกณฑ์ขึ้นไปอีกหนึ่งขั้น แต่หากได้ค่าต่ำกว่าค่าประสิทธิภาพที่ตั้งไว้ ต้องปรับปรุง และนำไปทดสอบประสิทธิภาพใช้หลายครั้งในภาคสนามจนได้ค่าถึงเกณฑ์ที่กำหนด

2.8.2.2 ความหมายของเกณฑ์ประสิทธิภาพ

หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของสื่อหรือชุดการสอน ที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม เป็นระดับที่ผลิตสื่อหรือชุดการสอนจะพึงพอใจว่า หากสื่อหรือชุดการสอนมีประสิทธิภาพถึงระดับนั้นแล้ว สื่อหรือชุดการสอนนั้นก็มีคุณค่าที่จะนำไปสอนนักเรียน และคุ้มแก่การลงทุนผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพกระทำได้โดยการประเมินผลพฤติกรรมของผู้เรียน 2 ประเภท คือ พฤติกรรมต่อเนื่อง (กระบวนการ) กำหนดค่า
ประสิทธิภาพเป็น E_1 = Efficiency of Process (ประสิทธิภาพของกระบวนการ) และพฤติกรรมสุดท้าย (ผลลัพธ์) กำหนดค่าประสิทธิภาพเป็น E_2 = Efficiency of Product (ประสิทธิภาพของผลลัพธ์)

2.8.2.2.1 ประเมินพฤติกรรมต่อเนื่อง (Transitional Behavior)

คือประเมินผลต่อเนื่องซึ่งประกอบด้วยพฤติกรรมย่อยของผู้เรียน เรียกว่า “กระบวนการ” (Process) ที่เกิดจากการประกอบกิจกรรมกลุ่ม ได้แก่ การทำโครงการ หรือทำรายงานเป็นกลุ่ม และรายงานบุคคล ได้แก่งานที่มอบหมาย และกิจกรรมอื่นใดที่ผู้สอนกำหนดไว้

2.8.2.2.2 ประเมินพฤติกรรมสุดท้าย (Terminal Behavior)

คือประเมินผลลัพธ์ (Product)ของผู้เรียน โดยพิจารณาจากการสอบหลังเรียน และการสอบไล่

ประสิทธิภาพของสื่อหรือชุดการสอนจะกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ผู้สอนคาดหมายว่าผู้เรียนจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นที่พึงพอใจ โดยกำหนดให้ของผลเฉลี่ยของคะแนนการทำงาน และการประกอบกิจกรรมของผู้เรียนทั้งหมดต่อร้อยละของผลการประเมินหลังเรียนทั้งหมด นั่นคือ E_1/E_2 = ประสิทธิภาพของกระบวนการ/ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ ตัวอย่าง 80/80 หมายความว่า เมื่อเรียนจากสื่อหรือชุดการสอนแล้ว ผู้เรียนจะสามารถทำแบบฝึกปฏิบัติ หรืองานได้ผลเฉลี่ย 80% และประเมินหลังเรียนและงานสุดท้ายได้ผลเฉลี่ย 80% การที่จะกำหนดเกณฑ์ E_1/E_2 ให้มีค่าเท่าใดนั้น ให้ผู้สอนเป็นผู้พิจารณาตามความพอใจโดยพิจารณาพิสัยการเรียนที่จำแนกเป็นวิทยพิสัย(Cognitive Domain) จิตพิสัย (Affective Domain) และทักษพิสัย (Skill Domain) ในขอบข่ายวิทยพิสัย (เดิมเรียกว่าพุทธิพิสัย) เนื้อหาที่เป็นความรู้ความจำมักจะตั้งไว้สูงสุดแล้วลดต่ำลงมาคือ 90/90 85/85 80/80ส่วนเนื้อหาสาระที่เป็นจิตพิสัย จะต้องใช้เวลาไปฝึกฝนและพัฒนา ไม่สามารถทำให้ถึงเกณฑ์ระดับสูงได้ในห้องเรียนหรือในขณะที่เรียน จึงอนุโลมให้ตั้งไว้ต่ำลง นั่นคือ 80/80 75/75 แต่ไม่ต่ำกว่า75/75 เพราะเป็นระดับควาพอใจต่ำสุด จึงไม่ควรตั้งเกณฑ์ไว้ต่ำกว่านี้

2.8.3 วิธีการคำนวณค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ของชุดฝึกหรือสื่อการเรียนการสอน สามารถหาได้จากสมการ E_1/E_2 ของศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ พรหมวงศ์ โดยนำค่าประสิทธิภาพ E_1 คือค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ มาเทียบกับค่าประสิทธิภาพ E_2 คือค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ ดังนี้

$$E_1 = \frac{\left(\frac{\Sigma x}{N}\right)}{A} \times 100 \quad (2\text{-}8)$$

เมื่อ E_1 = ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ

Σx = คะแนนรวมของผู้เรียนระหว่างเรียน

A = คะแนนเต็มของแบบทดสอบและแบบฝึกปฏิบัติ

N = จำนวนผู้เรียน

$$E_2 = \frac{\left(\frac{\Sigma F}{N}\right)}{B} \times 100 \quad (2\text{-}9)$$

เมื่อ E1 = ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์

ΣF = คะแนนรวมแบบทดสอบหลังเรียนของผู้เรียน

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนทั้งหมด

N = จำนวนผู้เรียน

การคำนวณหาประสิทธิภาพโดยใช้สูตรดังกล่าวข้างต้น กระทำได้โดยการนำคะแนนรวมแบบฝึกปฏิบัติ หรือผลงานในขณะประกอบกิจกรรมกลุ่ม/เดี่ยว และคะแนนสอบหลังเรียน มาเข้าตารางแล้วจึงคำนวณหาค่า E_1/E_2

2.8.4 การตีความหมายผลการคำนวณ

หลังจากคำนวณหาค่า E_1 และ E_2 ได้แล้วผู้หาประสิทธิภาพต้องตีความหมายของผลลัพธ์โดยยึดหลักการและแนวทางดังนี้

2.8.4.1 ความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ ให้มีความคลาดเคลื่อน หรือความแปรปรวนของผลลัพธ์ได้ไม่เกิน .05 (ร้อยละ 5) จากช่วงต่ำไปสูง = ±2.5 นั่นให้ผลลัพธ์ของค่า E_1 หรือ E_2 ที่ถือว่าเป็นไป ตามเกณฑ์ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ ไม่เกิน 2.5% และสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ไม่เกิน 2.5% หากคะแนน E_1 หรือ E_2 ห่างกันเกิน 5% แสดงว่า กิจกรรมที่ให้นักเรียนทำกับการสอบหลังเรียน ไม่สมดุลกันเช่น ค่า E_1 มากกว่า E_2 แสดงว่า งานที่มอบหมายอาจจะง่ายกว่า การสอบ หรือ หากค่า E_2 มากกว่าค่า E_1 แสดงว่า การสอบง่ายกว่า หรือไม่สมดุลกับงานที่มอบหมายให้ทำ จำเป็นที่จะต้องปรับแก้หากสื่อหรือชุดการสอนได้รับการออกแบบ และพัฒนาอย่างดีมีคุณภาพ ค่า E_1 หรือ E_2 ที่คำนวณได้จากการทดสอบประสิทธิภาพ จะต้องใกล้เคียงกัน และห่างกันไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นตัวชี้ที่จะยืนยันได้ว่านักเรียนได้มีการเปลี่ยนพฤติกรรมต่อเนื่องตามลำดับขั้น หรือไม่ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนพฤติกรรมขั้นสุดท้าย

หรืออีกนัยหนึ่งต้องประกันได้ว่านักเรียนมีความรู้จริงไม่ใช่ทำกิจกรรม หรือทำสอบได้เพราะการเดา การประเมินในอนาคตจะเสนอผลการประเมินเป็นเลขสองตัว คือ E_1 คู่ E_2 เพราะจะทำให้ผู้อ่านผลการประเมินทราบลักษณะนิสัยของผู้เรียนระหว่างนิสัยในการทำงานอย่างต่อเนื่อง คงเส้นคงวาหรือไม่ (ดูจากค่า E_1 คือกระบวนการ) กับการทำงานสุดท้ายว่ามีคุณภาพมากน้อยเพียงใด (ดูจากค่า E_2 คือกระบวนการ) เพื่อประโยชน์ของการกลั่นกรองบุคลากรเข้าทำงาน

2.8.5 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ

เมื่อผลิตสื่อหรือชุดการสอนขึ้น เป็นต้นแบบแล้ว ต้องนำสื่อหรือชุดการสอนไปหาประสิทธิภาพตาม ขั้นตอนต่อไปนี้

2.8.5.1 การทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว

(1:1) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 1-3 คน โดยใช้เด็กอ่อน ปานกลาง และเด็กเก่ง ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงน หรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ ประเมินการเรียนจากกระบวนการ คือกิจกรรมหรือภารกิจ และงานที่มอบให้ทำ และทดสอบหลังเรียน นำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหา สาระ กิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น โดยปกติคะแนนที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยวนี้จะได้คะแนนต่ำว่าเกณฑ์มาก แต่ไม่ต้องวิตกเมื่อปรับปรุงแล้วจะสูงขึ้นมาก ก่อนนำไปทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่ม ทั้งนี้ E_1/E_2 ที่ได้จะมีค่าประมาณ 60/60

2.8.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่ม

(1:10) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 6–10 คน (คละผู้เรียนที่เก่ง ปานกลางกับอ่อน) ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงน หรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ หลังจาก ทดสอบประสิทธิภาพให้ประเมินการเรียนจากกระบวนการ คือกิจกรรมหรือภารกิจและงานที่มอบให้ทำ และประเมินผลลัพธ์คือการทดสอบหลังเรียน และงานสุดท้ายที่มอบให้นักเรียนทำส่งก่อนสอบประจำหน่วย ให้นำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพหากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระกิจกรรมระหว่างเรียน และแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น คำนวณหาประสิทธิภาพแล้วปรับปรุง ในคราวนี้คะแนนของผู้เรียนจะเพิ่มขึ้นอีกเกือบเท่าเกณฑ์โดยเฉลี่ย จะห่างจากเกณฑ์ประมาณ 10% นั่นคือ E_1/E_2 ที่ได้จะมีค่าประมาณ 70/70

2.8.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพภาคสนาม

(1:100) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียนทั้งชั้น ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงน หรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ หลังจากทดสอบประสิทธิภาพ

ภาคสนามแล้วให้ประเมินการเรียนจากกระบวนการ คือกิจกรรมหรือภารกิจ และงานที่มอบให้ทำ และทดสอบหลังเรียนนำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระ กิจกรรมระหว่างเรียน และแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามซ้ำกับนักเรียนต่างกลุ่ม อาจทดสอบประสิทธิภาพ 2-3 ครั้ง จนได้ค่าประสิทธิภาพถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ ปกติไม่น่าจะทดสอบประสิทธิภาพเกินสามครั้ง ด้วยเหตุนี้ ขั้นทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามจึงแทนด้วย 1:100

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพ ภาคสนามควรใกล้เคียงกัน เกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากต่ำจากเกณฑ์ไม่เกิน 2.5% ก็ให้ยอมรับว่า สื่อหรือชุดการ สอนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

2.9 การวิจัยในชั้นเรียนเชิงปฏิบัติการ

2.9.1 ความหมายของการวิจัยในชั้นเรียน

เบสท์ (Best 1977: 8) ได้ให้ความหมายของการวิจัยว่า เป็นวิธีการที่มีระบบ มีการวิเคราะห์ที่เป็นปรนัย และมีการจดบันทึกการสังเกตที่ได้รับการควบคุม ซึ่งนำไปสู่ผลสรุป หลักการ กฎเกณฑ์ ทฤษฎีต่าง ๆ

เพื่อนำไปใช้ในการทำนายควบคุมเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นตามมา หรือควบคุมสาเหตุของกิจกรรมเฉพาะอย่างได้ เพื่อการค้นคว้าหาข้อเท็จจริง ให้ได้ความรู้ที่เชื่อถือได้ โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์อย่างเป็นระบบระเบียบ มีแบบแผน มีจุดมุ่งหมาย เพื่อให้ได้องค์ความรู้ใหม่ หรือข้อค้นพบใหม่ที่ถูกต้องเชื่อถือได้ ที่เป็นข้อเท็จจริงด้วยวิธีการที่เป็นระบบ มีแบบแผนตามแนวทางของวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องของประเด็นปัญหาที่ต้องการศึกษา ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการที่มีระบบ มีเหตุผล และมีความน่าเชื่อถือ ให้เกิดความเข้าใจ ช่วยในการแก้ไขปัญหา ปรับปรุง พัฒนางานบุคคลหรือกลุ่มบุคคล โดยมีลักษณะดังนี้ (1) เป็นกระบวนการที่มีระบบแบบแผน (2) มีจุดมุ่งหมายที่แน่นอนและชัดเจน (3) ดำเนินการศึกษาค้นคว้าอย่างรอบคอบ ไม่ลำเอียง (4) มีหลักเหตุผล และ (5) บันทึกและรายงานออกมาอย่างระมัดระวัง สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยนำไปสู่การพัฒนาหรือแก้ไขปัญหาได้ (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2553: 1; ศุภกิจ วงศ์วิวัฒนนุกิจ, 2550: 237; พิสณุ ฟองศรี, 2551: 4; สุวิมล ติรกานันท์, 2551: 6; วรรณี แกมเกตุ, 2555: 18; และ บุญชม ศรีสะอาด, 2556: 2)

การวิจัยในชั้นเรียนเป็นลักษณะของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ คือการทำการวิจัยควบคู่ไปกับการปฏิบัติงานจริง โดยมีครูเป็นทั้งผู้ผลิตงานวิจัย และผู้บริโภคงานวิจัย หลังจากนั้นครูจะดำเนินงานการจัดการเรียนการสอนไปพร้อม ๆ กับการจัดเก็บข้อมูลตามระบบข้อมูลที่ได้วางแผนการวิจัยไว้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สรุปผลการวิจัย นำผลการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอน แล้วจะพัฒนาข้อความรู้นั้นต่อไปให้มีความถูกต้องเป็นสากล และเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นต่อการพัฒนาการเรียนการสอน เพื่อการพัฒนานักเรียนของครูให้มีคุณภาพยิ่ง ๆ ขึ้นไป เพื่อหาวิธีแก้ปัญหา ปรับปรุง

เปลี่ยนแปลง เพื่อพัฒนาคุณภาพ การจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน พัฒนาการเรียนการสอนโดยครูผู้สอนเป็นผู้ดำเนินการวิจัยด้วยตนเอง (สุวัฒนาสุวรรณเขตนิคม, 2537: 37; กิตติพร ปัญญาภิญโญผล, 2540: 25; สุวิมล ว่องวาณิช, 2550: 7; ธีระวุฒิ เอกะกุล, 2552: 9)

2.9.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัยในชั้นเรียน

การวิจัยในชั้นเรียนเป็นลักษณะของการวิจัยเชิงปฏิบัติการที่ทำวิจัยควบคู่ไปกับการปฏิบัติงานจริงโดยมีครูเป็นทั้งผู้ผลิตงานวิจัยและผู้บริโภคงานวิจัย หลังจากนั้นครูจะดำเนินงานการจัดการเรียนการสอนไปพร้อม ๆ กับการจัดเก็บข้อมูลตามระบบข้อมูลที่ได้วางแผนการวิจัยไว้ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สรุปผลการวิจัย นำผลการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอน แล้วจะพัฒนาข้อความรู้นั้นต่อไปให้มีความถูกต้องเป็นสากล และเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นต่อการพัฒนาการเรียนการสอน เพื่อการพัฒนานักเรียนของครูให้มีคุณภาพยิ่ง ๆ ขึ้นไป (สุวัฒนา สุวรรณเขตนิคม, 2537: 15) รวมไปถึงการศึกษาค้นคว้าอย่างมีระบบและเชื่อถือได้ เพื่อหาวิธีแก้ปัญหา ปรับปรุง เปลี่ยนแปลงเพื่อพัฒนาคุณภาพการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน (กิตติพร ปัญญาภิญโญผล, 2540: 22) ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ปัญหา เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน และนำผลมาใช้ในการปรับปรุงการเรียนการสอน หรือส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนให้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับผู้เรียน เป็นการวิจัยที่ต้องทำอย่างรวดเร็ว นำผลไปใช้ทันที และสะท้อนข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติงานต่าง ๆ ในชีวิตประจ าวันของตนเอง ให้ทั้งตนเองและกลุ่มเพื่อนร่วมงานใน โรงเรียนได้มีโอกาสวิพากษ์อภิปราย แลกเปลี่ยนเรียนรู้ในแนวทางที่ได้ปฏิบัติ และผลที่เกิดขึ้นเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของทั้งครูและผู้เรียน (สุวิมล ว่องวาณิช, 2550: 24; เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์, 2539: 183; ธีระวุฒิ เอกะกุล, 2552: 36)

จากความหมายของการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนของนักการศึกษาดังกล่าว พอสรุปได้ว่า การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน หมายถึง การวิจัยที่ครูผู้สอนเป็นผู้มีบทบาทในฐานะผู้สอนและผู้วิจัยในสิ่งที่จะศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในห้องเรียน ตลอดจนการส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยครูผู้สอนในแต่ละกลุ่มสาระการเรียนรู้ นอกจากนั้น จะต้องมีการนำผลการปฏิบัติการมาใช้ในการปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับผู้เรียนของตนเอง

2.9.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในชั้นเรียน

จากพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 ได้กำหนดให้ครูผู้สอนใช้การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในแต่ละระดับการศึกษา มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ มีความรอบรู้ รวมทั้งสามารถใช้การวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้ จึงจำเป็นที่ครูผู้สอนที่ดีทุกคนต้องพึงกระทำตามที่ พ.ร.บ.กำหนด

2.9.3.1 ขั้นที่ 1 วิเคราะห์ผู้เรียนเพื่อระบุปัญหา

เป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนในการแก้ปัญหาหรือพัฒนาการเรียนการสอน โดยการสำรวจและวิเคราะห์ผู้เรียน

2.9.3.1.1 ศึกษาจากขอมูลของผู้เรียนหลาย ๆ ด้าน เช่น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผ่านมา ผลการผ่าน จุดประสงค์การเรียนรู้ พฤติกรรมของผู้เรียน การปฏิบัติงานของนักเรียน โดยวิธีการที่ใช้ที่หลากหลายเช่น การสังเกต การทดสอบ การตรวจสอบ การสัมภาษณ์ การสำรวจข้อมูล การประเมินตนเอง

2.9.3.1.2 นำปัญหาที่พบมาพิจารณาจัดลำดับความสำคัญ

2.9.3.1.3 เลือกปัญหาที่เหมาะสมที่สุดมาวิจัยก่อน

2.9.3.1.4 กำหนดเกณฑ์หรือเส้นพัฒนาในเรื่องที่จะทำการวิจัย

2.9.3.1.5 นำเสนอความสามารถของผู้เรียน และเลือกระดับที่จะพัฒนผู้เรียน

2.9.3.1.6 ตั้งหัวข้อการวิจัย และกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.9.3.2 ขั้นที่ 2 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

เมื่อเลือกปัญหาที่จะทำการวิจัยได้แล้ว จะต้องศึกษาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำความรู้นั้นมาเป็นพื้นฐานในการดำเนินการวิจัย เช่น ศึกษาหลักสูตร จุดประสงค์การเรียนรู้ วิธีสอนแบบต่างๆ ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ แนวทางในการสร้างนวัตกรรมประเภทต่าง ๆ งานวิจัยหรือข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.9.3.3 กำหนดวิธีการจัดทำ

นำข้อมูลที่ได้ มาประกอบการตัดสินใจเลือกนวัตกรรม ที่จะนำมาใช้แก้ปัญหานั้น ซึ่งอาจเป็นนวัตกรรมประเภท วัสดุ อุปกรณ์ หรือวิธีการ หรือใช้ทั้งวัสดุอุปกรณ์ และวิธีการก็ได้ รวมทั้งกำหนดแนวทางในการดำเนินการ ว่าจะทำอะไรก่อน – หลัง

2.9.3.4 พัฒนานวัตกรรมพร้อมวิธีการใช้

ในขั้นนี้เป็นการสร้างนวัตกรรม ตามขั้นตอนของการผลิตนวัตกรรมแต่ละประเภท รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้วัดและประเมินผลด้วย แล้วทำการทดลองใช้เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อก่อนใช้จริง จากนั้นจัดทำแผนการสอน หรือคู่มือประกอบการใช้สื่อนั้น

2.9.3.5 นำไปช่วยแก้ปัญหา

โดยนำไปใช้กับกลุ่มนักเรียนที่จะพัฒนาตามกระบวนการ หรือขั้นตอน หรือแผนการสอนที่กำหนดไว้โดยทำการเก็บข้อมูลและบันทึกผลอย่างต่อเนื่อง มีร่องรอย มีชิ้นงานรองรับอย่างชัดเจน

2.9.3.6 สรุปผลการพัฒนาและรายงานผล

โดยนำข้อมูลที่รวบรวมไว้มาสรุปผลหาค่าสถิติที่เหมาะสม ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้รับกับข้อมูลเดิม เพื่อชี้ผลการพัฒนาจากนั้นเขียนรายงานการพัฒนา เพื่อบอกให้ทราบว่า ทำไมจึงทำ

มีวัตถุประสงค์อย่างไร ก่อนทำศึกษาข้อมูลจากแหล่งใดบ้าง ดำเนินการจัดทำอย่างไร ผลเป็นอย่างไร มีข้อเสนอแนะอย่างไร

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 ปรีดา ทาไธสงค์ (2565 : มหาลัยราชภัฏอุดรธานี) ซึ่งได้ศึกษาการออกแบบ และสร้างชุดปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส และใบงานการทดลอง จำนวน 7 ใบงาน การทดลองชุดปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส โดยมีกลุ่มทดสอบคือ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ปีที่ 4 จำนวน 3 คน ทำการทดลองคนละ 7 ใบงาน การทดลองทั้งหมด 21 ครั้ง ผลการทดลองถูกต้อง 19 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 90.48 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ อยู่ในระดับ ดีมาก

2.10.2 สมพร อ่อนเกตุพล (2558 : วิทยาลัยเทคนิคลำพูน) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของชุดฝึกทักษะการต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส สำหรับนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง ตามเกณฑ์ประสิทธิภาพ 80/80 ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการใช้ชุดฝึกทักษะการต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่พัฒนาขึ้น โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนที่เรียนรายวิชามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 32 คน สรุปผลได้ดังนี้ 1. ชุดฝึกการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสลับ 1 เฟส มีประสิทธิภาพโดยรวม 87.02/89.30 และทุกชุดมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ใช้ชุดฝึกทักษะการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (ค่าที่ 78.90)

2.10.3 กิตติศักดิ์ คงสีไพร (2565 : มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม) การพัฒนาชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อส่งเสริมทักษะการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม กลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ประสิทธิภาพของชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (E1/E2) ผลการวิจัยพบว่า 1. ชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มีประสิทธิภาพ 89.90/90.17 2. กลุ่มเป้าหมายมีผลการสัดทักษะปฏิบัติหลังการเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากงานวิจัยดังกล่าว สรุปได้ว่าสื่อการสอน ชุดฝึกหรือชุดทดลอง สามารถที่มีประสิทธิภาพของชุดฝึกหรือชุดทดลอง ตามเกณฑ์ประสิทธิภาพ 80/80 สามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่ามากกว่า 80/80

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ผู้วิจัยได้พิจารณาจากเงื่อนไขของปัญหาที่พบ รวมถึงระยะเวาในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามรูปแบบ การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) ซึ่งเป็นลักษณะของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ที่ทำวิจัยควบคู่ไปกับการปฏิบัติงานจริง โดยผู้วิจัยจะดำเนินงานการจัดการเรียนการสอนไปพร้อม ๆ กับการจัดเก็บข้อมูลตามระบบข้อมูลที่ได้วางแผนการวิจัยไว้ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สรุปผลการวิจัย นำผลการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอน โดยดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกประชากรและกลุ่มเป้าหมายที่เหมาะสมสำหรับการวิจัย โดยพิจารณาจากเกณฑ์ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสามารถนำไปวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.5.1 ประชากร คือ นักเรียน นักศึกษา สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี

3.5.2 กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ชั้นปีที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี นักเรียนที่กำลังเรียนรายวิชา การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า รหัสวิชา 20104-2009 จำนวน 19 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้จัดสร้างนวัตกรรมและเครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อใช้เป็นองค์ประกอบสำคัญในการเก็บรวบรวมข้อมูล และประเมินผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 1) ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง, 2) ใบปฏิบัติงาน, 3) ใบเนื้อหา, 4) แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน และ 5) แบบสอบถามความพึงพอใจ

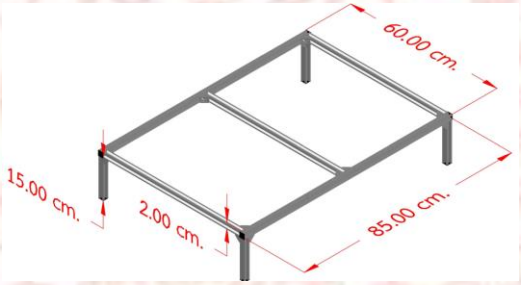
3.2.1 ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูล เกี่ยวกับการการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ ร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อขอคำแนะนำสำหรับออกแบบชุดฝึกฯ

3.2.1.1 การออกแบบชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

3.2.1.1.1 การออกแบบโครงสร้าง

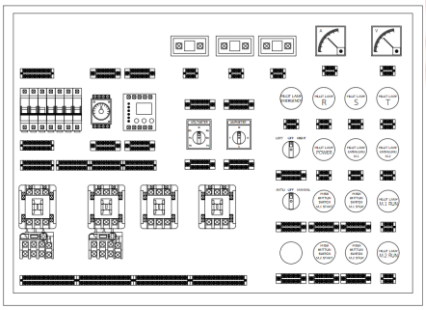
โครงสร้างของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง จะใช้วัสดุอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminium Profile) ซึ่งมีคุณสมบัติ เบา แข็งแรง และประกอบได้ง่าย



ภาพที่ 3-1 การออกแบบโครงสร้างของ ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง

3.2.1.1.2 การออกแบบตำแหน่งของอุปกรณ์

ผู้วิจัยได้จากการศึกษา อุปกรณ์ที่ต้องใช้เพื่อต่อวงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ให้สามารถใช้งานได้ตามเงื่อนไขทำงานที่หลากหลาย



ภาพที่ 3-2 การออกแบบตำแหน่งของอุปกรณ์ของ ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง

3.2.4 ใบปฏิบัติงาน

ผู้วิจัยได้จัดทำใบงานขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือเสริมการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึก เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาได้อย่างลึกซึ้ง ผ่านการฝึกปฏิบัติ และการแก้ไขปัญหาตามสถานการณ์จริง ใบงานยังประกอบด้วย คำถามเชิงวิเคราะห์ และกิจกรรมเสริม เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีใบงานดังนี้ ใบงานที่ 1 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง (Direct Start), ใบงานที่ 2 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch, ใบงานที่ 3 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing), ใบงานที่ 4 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing), ใบงานที่ 5 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing), ใบงานที่ 6 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star-Delta), ใบงานที่ 7 การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน อัตโนมัติ (Automatic Sequence)

3.2.5 ใบเนื้อหา

ผู้วิจัยได้จัดทำใบเนื้อหาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึกฯ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมถึงหลักการทำงาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนสามารถศึกษาและทำความเข้าใจได้อย่างเป็นระบบ ใบเนื้อหาดังกล่าวถูกออกแบบให้มีความกระชับ ชัดเจน และเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้เรียน โดยมีใบเนื้อหา ดังนี้ ใบเนื้อหาที่ 1 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง (Direct Start), ใบเนื้อหาที่ 2 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch, ใบเนื้อหาที่ 3 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing), ใบเนื้อหาที่ 4 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing), ใบเนื้อหาที่ 5 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing), ใบเนื้อหาที่ 6 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star-Delta), ใบเนื้อหาที่ 7 การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน อัตโนมัติ (Automatic Sequence)

3.2.6 แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน แบบทดสอบก่อนเรียนถูกออกแบบเพื่อวัดระดับความรู้พื้นฐาน และความเข้าใจของผู้เรียนก่อนเข้าสู่กระบวนการเรียนการสอน ขณะที่แบบทดสอบหลังเรียนจะประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดฝึกฯ แบบทดสอบทั้งสองชุดได้รับการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ โดยได้รับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

3.2.7 แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินความคิดเห็นและความรู้สึกของนักศึกษาต่อสื่อที่สร้างขึ้น ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง และพัฒนาการสื่อ และการสอนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นทั้งนี้ แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ได้รับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

3.3 วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 การประเมินเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบประเมินเครื่องมือวิจัยขึ้นมา โดยได้ศึกษาข้อมูล แนวคิด และทฤษฎีจากการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา ในการสร้างเครื่องมือและ แบบประเมินเครื่องมือ และได้เชิญผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 ท่าน ซึ่งเป็น ผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์ เกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษา สาขาวิชาไฟฟ้า จำนวน 3 ท่าน และเกี่ยวกับการศึกษา สาขาวิชาไฟฟ้า สาขาวิชาการศึกษา หรือสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่าน เพื่อใช้ในการประเมินกระบวนการ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย แบบประเมินถูกออกแบบให้ครอบคลุมทุกด้านที่สำคัญ เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือวิจัย มีความเหมาะสม และสามารถสะท้อนผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ข้อมูลที่ได้จากการประเมินจะนำไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการต่างๆ ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น การประเมินเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญมีดังต่อไปนี้

3.3.1.1 แบบประเมินคุณภาพสื่อ/นวัตกรรมการเรียนการสอน

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบประเมินคุณภาพสื่อ/นวัตกรรมการเรียนการสอนขึ้นมา เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพสื่อที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้นำแบบประเมินนี้ให้ผู้เชี่ยวชาญ ที่มีความรู้และประสบการณ์ เพื่อรับข้อเสนอแนะ และความคิดเห็นในการพัฒนา และปรับปรุงเครื่องมือวิจัยให้ดียิ่งขึ้น การประเมินแบบประเมินคุณภาพสื่อ/นวัตกรรมการเรียนการสอน มีการประเมินด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1.1.1 ด้านเนื้อหาและกิจกรรม

3.3.1.1.2 ด้านการวัดและประเมินผล

3.3.1.1.3 ด้านเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา

3.3.1.2 แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบ

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบขึ้นมา เพื่อใช้ในการประเมินข้อคำถามสำหรับการสร้างแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์การเรียนรู้และข้อคำถาม เพื่อให้มั่นใจว่าแบบทดสอบสามารถวัดผลได้ตรงตาม

วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ทำให้แบบทดสอบมีความน่าเชื่อถือ และสามารถใช้ในการวัดผลการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.1.3 แบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน เพื่อใช้ในการประเมินความน่าเชื่อถือ และความเหมาะสมของแบบสอบถามที่ใช้เก็บข้อมูลความคิดเห็นจากนักศึกษาเกี่ยวกับสื่อการสอน และปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสบการณ์การเรียนรู้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้เชิญผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง มาช่วยในการประเมินแบบสอบถาม เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือนี้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการสะท้อนความคิดเห็นของนักศึกษา ข้อมูลที่ได้จากการประเมินจะนำไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาแบบสอบถามให้ดียิ่งขึ้น ก่อนนำไปใช้จริงในการสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียน

3.3.2 การประเมินความพึงพอใจของนักเรียน

เมื่อผู้เชี่ยวชาญได้ทำการให้คะแนนตามแบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนแล้ว ผู้วิจัยได้นำผลการประเมินนั้นมาพิจารณา และปรับปรุงแบบสอบถามให้มีความสมบูรณ์และมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น โดยการปรับปรุงดังกล่าวจะพิจารณาจากคำแนะนำ และข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้แน่ใจว่าแบบสอบถามที่สร้างขึ้นจะสามารถสะท้อนความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้เรียนได้อย่างครบถ้วนและแม่นยำ หลังจากนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำแบบสอบถามที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมาทดลองใช้ในกระบวนการเก็บข้อมูลจริง เพื่อใช้ในการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

3.3.3 การหาประสิทธิภาพของชุดฝึก

ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการหาประสิทธิภาพของชุดฝึกโดยการใช้วิธีการวัดผลจากกระบวนการ E_1/E_2 ของ ศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นการประเมินผลสัมฤทธิ์ของชุดฝึกที่ใช้ในการเรียนการสอนหรือการฝึกอบรม โดยใช้ตัวชี้วัดที่เรียกว่า E_1 และ E_2 ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยให้สามารถวัดประสิทธิภาพของชุดฝึกได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ โดยความหมายของ E_1 และ E_2 คือ

E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ

E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

การใช้วิธี E_1/E_2 จะช่วยให้ผู้วิจัยหรือผู้ฝึกอบรมสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อน และหลังการฝึกเพื่อประเมินว่า ชุดฝึกนั้นมีประสิทธิภาพในการพัฒนาความรู้หรือทักษะของผู้เรียนมากน้อยเพียงใด

การในวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดฝึก ฯ ออกเป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่ม เก่ง กลาง และ อ่อน ซึ่งจัดอันดับจากผลการเรียนเฉลี่ยสะสมในเทอมก่อนหน้าการวิจัย และใช้การทดสอบประสิทธิภาพใช้เบื้องต้น โดยทดสอบแบบเดี่ยว

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1.1 ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ

ความเที่ยงตรง (Validity) ของแบบทดสอบ สามารถหาได้จากผู้เชี่ยวชาญทางสาขาวิชานั้นพิจารณาแบบทดสอบฉบับนี้ ว่าตรงตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม หรือสิ่งที่ต้องการจะประเมินหรือไม่ และคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Consistency : IOC) โดยใช้สูตรของโรวิเนลลีและแฮมเบลตัน (Rowinnelli and Hambleton, 1997) ดังสมการที่ 3-1 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จะมีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 และถ้าค้า IOC ของข้อสอบแต่ละข้อมีค่าน้อยกว่า 0.5 แสดงว่าข้อสอบข้อนั้นไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (3\text{-}1)$$

เมื่อ IOC = ดัชนีความสอดคล้องของข้อสอบแต่ละข้อ

$\sum R$ = ผลรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

3.4.1.2 ค่าเฉลี่ย

ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) การหาค่าเฉลี่ย ของคะแนนจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ และการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายในการวิจัย โดยมีระดับความคิดเห็น 5 ระดับ คือ ระดับมากที่สุด ให้คะแนน 5 คะแนน, ระดับมาก ให้คะแนน 4 คะแนน, ระดับปานกลาง ให้คะแนน 3 คะแนน, ระดับน้อย ให้คะแนน 2 คะแนน และระดับน้อยที่สุด ให้คะแนน 1 คะแนน สมการที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) คือ

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (3\text{-}2)$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ = ผลรวมของคะแนนระดับความคิดเห็น

N = จำนวนผู้ประเมิ

3.4.1.3 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation ; S.D.) เป็นค่าสุทธิของการวัดความผันแปรบ่ายเบนของกลุ่มคะแนน เพื่อหาค่าการกระจายของข้อมูลที่ได้จากคะแนนการประเมิน

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2-(\sum X)^2}{N(N-1)}} \quad (3\text{-}3)$$

เมื่อ S.D. = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X^2$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละค่ายกกำลังสอง

$(\sum X)^2$ = ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

N = จำนวนผู้ประเมิน

3.4.1.3 ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ของชุดฝึกหรือสื่อการเรียนการสอน สามารถหาได้จากสมการ E1/E2 ของศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ พรหมวงศ์ โดยนำค่าประสิทธิภาพ E1 คือค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ มาเทียบกับค่าประสิทธิภาพ E2 คือค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$$E1 = \frac{\left(\frac{\Sigma x}{N}\right)}{A} \times 100 \quad (3\text{-}4)$$

เมื่อ E1 = ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ

Σx = คะแนนรวมของผู้เรียนระหว่างเรียน

A = คะแนนเต็มของแบบทดสอบและแบบฝึกปฏิบัติ

N = จำนวนผู้เรียน

$$E2 = \frac{\left(\frac{\Sigma F}{N}\right)}{B} \times 100 \quad (3\text{-}5)$$

เมื่อ E1 = ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์

ΣF = คะแนนรวมแบบทดสอบหลังเรียนของผู้เรียน

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนทั้งหมด

N = จำนวนผู้เรียน

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก แบบประเมินคุณภาพ แบบประเมินความสอดคล้อง แบบสอบถามความพึงพอใจ และแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อประเมินผล และสรุปข้อมูลอย่างเป็นระบบ รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพ

ผู้วิจัยได้นำผลจากการให้คะแนนในแบบประเมินคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญ มาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัย ว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับที่ดีหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ ดังนี้

3.4.2.1.1 เครื่องมือวิจัยที่ได้รับการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่

ก) แบบประเมินคุณภาพสื่อ/นวัตกรรมการเรียนการสอน

ข) แบบประเมินคุณภาพแบบสอบถามความพึงพอใจ

3.4.2.1.2 สถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.)

3.4.2.1.3 การแปลผลคะแนนตามเกณฑ์มาตรฐาน

ก) ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) แปลความหมายเป็น 5 ระดับ ดังนี้ 1) ค่าเฉลี่ย 4.51 ถึง 5.00 ระดับมากที่สุด 2) ค่าเฉลี่ย 3.51 ถึง 4.50 ระดับมาก 3) ค่าเฉลี่ย 2.51 ถึง 3.50 ระดับปานกลาง 4) ค่าเฉลี่ย 1.51 ถึง 2.50 ระดับน้อย และ 5) ค่าเฉลี่ย 1.00 ถึง 1.50 ระดับน้อยมาก

ข) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) ความหมายเป็น 3 ระดับ ดังนี้ 1) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.51 ขึ้นไป ระดับ เบี่ยงเบนมาก 2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.01 ถึง 1.50 ระดับ เบี่ยงเบนปานกลาง และ 3) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 ถึง 1.00 ระดับ เบี่ยงเบนน้อย

3.4.2.2. การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินความสอดคล้อง

แบบประเมินความสอดคล้องถูกใช้เพื่อหา ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งเป็นการให้คะแนนโดยผู้เชี่ยวชาญ การตรวจสอบว่าเนื้อหาของแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ว่ามีความเหมาะสมและตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ ดังนี้

3.4.2.2.1 สถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)

3.4.2.1.2 การแปลผลคะแนนตามเกณฑ์มาตรฐาน ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (Index of Item-Objective Congruence: IOC) หรือ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) แปลความหมายเป็น 2 ระดับดังนี้ 1) ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50-1.00 มีค่าความเที่ยงตรง ใช้ได้ และ 2) ข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.50 ต้องปรับปรุง ยังใช้ไม่ได้

3.4.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจถูกใช้เพื่อวัดความคิดเห็นของผู้ใช้ที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ สถิติ และการแปลผลคะแนนตามเกณฑ์มาตรฐาน เช่นเดียว การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพ ข้อ 3.4.2.1

3.4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบคะแนนก่อนและหลังเรียน

ในการวิจัยนี้ มีการใช้แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) และคะแนนจากใบปฏิบัติงาน เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนก่อนและหลังการใช้ชุดฝึกฯ โดยค่าที่ได้จากแบบทดสอบนี้จะถูกนำไปใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของชุดฝึกฯ ด้วยวิธี E_1/E_2 ตามสมการที่ 3-5 และ 3-5 ซึ่งกำหนดเกณฑ์ไว้ที่ 80/80 โดยการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.4.2.4.1 เกณฑ์คะแนน E_1/E_2 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 80/80

ก) คะแนนระหว่างเรียน (E_1) ไม่น้อยกว่า 80% ของคะแนนเต็ม

ข) คะแนนหลังเรียน (E_2) เฉลี่ย ไม่น้อยกว่า 80% ของคะแนนเต็ม

3.4.2.4.2 ใช้สมการที่ 3-4 เพื่อหาค่า E_1 และ ใช้สมการที่ 3-5 เพื่อหาค่า E_2

3.4.2.4.3 การเปรียบเทียบ E_1 และ E_2 กับเกณฑ์ที่กำหนด

ก) หากค่า $E_1 \geq 80\%$ และ $E_2 \geq 80\%$ แสดงว่าชุดฝึกฯ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

ข) หากค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จะต้องพิจารณาปรับปรุงชุดฝึกฯ เพื่อให้ได้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนา ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือวิจัย และหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัย จากนั้นจึงนำเครื่องมือวิจัยที่ผ่านการประเมินคุณภาพ นำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อให้ได้ผลข้อมูลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ และสมมุติฐานที่กำหนดไว้ โดยในบทที่ 4 นี้ จะขอนำเสนอผลการวิจัยเป็นลำดับตามขั้นตอนการวิจัย ตั้งแต่การหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัย การเก็บรวบรวมผลการวิจัย จนถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลการวิจัย ตามหัวข้อดังนี้

4.1 ผลการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

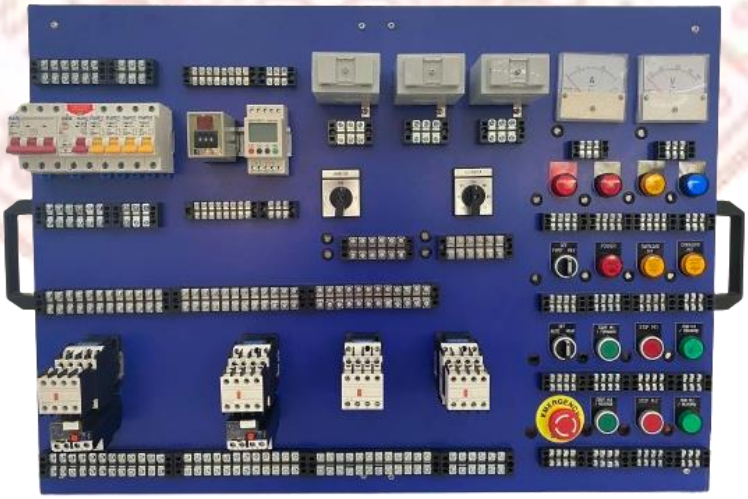
4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา

4.3 ผลการหาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง

4.1 ผลการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนา ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

4.1.1 ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง



ภาพที่ 4-1 ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

4.1.1.1 อุปกรณ์ของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสาเฟสระดับกลาง

4.1.1.1.1	Miniature Circuit Breaker 3 P 30 A	จำนวน	1	ตัว
4.1.1.1.2	Miniature Circuit Breaker 1 P 10 A	จำนวน	4	ตัว
4.1.1.1.3	Magnetic Contactor 230 VAC 10 A	จำนวน	4	ตัว
4.1.1.1.4	Overload Relay 10 A	จำนวน	2	ตัว
4.1.1.1.5	Current Transformer 30/5A	จำนวน	3	ตัว
4.1.1.1.6	Timer Relay 1-10 Sec	จำนวน	1	ตัว
4.1.1.1.7	Digital Phase Protector	จำนวน	1	ตัว
4.1.1.1.8	Volt Meter 500 V	จำนวน	1	ตัว
4.1.1.1.9	Amp Meter 30 A	จำนวน	1	ตัว
4.1.1.1.10	Selector Volt Switch	จำนวน	1	ตัว
4.1.1.1.11	Selector Amp Switch	จำนวน	1	ตัว
4.1.1.1.12	Push Button Switch	จำนวน	4	ตัว
4.1.1.1.13	Pilot Lamp	จำนวน	8	ตัว
4.1.1.1.14	Auxiliary Contact Block 2 NO 2 NC	จำนวน	4	ตัว

4.1.1.2 ขนาดของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง

4.1.1.2.1 สูง 15 เซนติเมตร, กว้าง 60 เซนติเมตร, ยาว 85 เซนติเมตร

4.1.1.3 วัสดุที่ใช้สร้าง

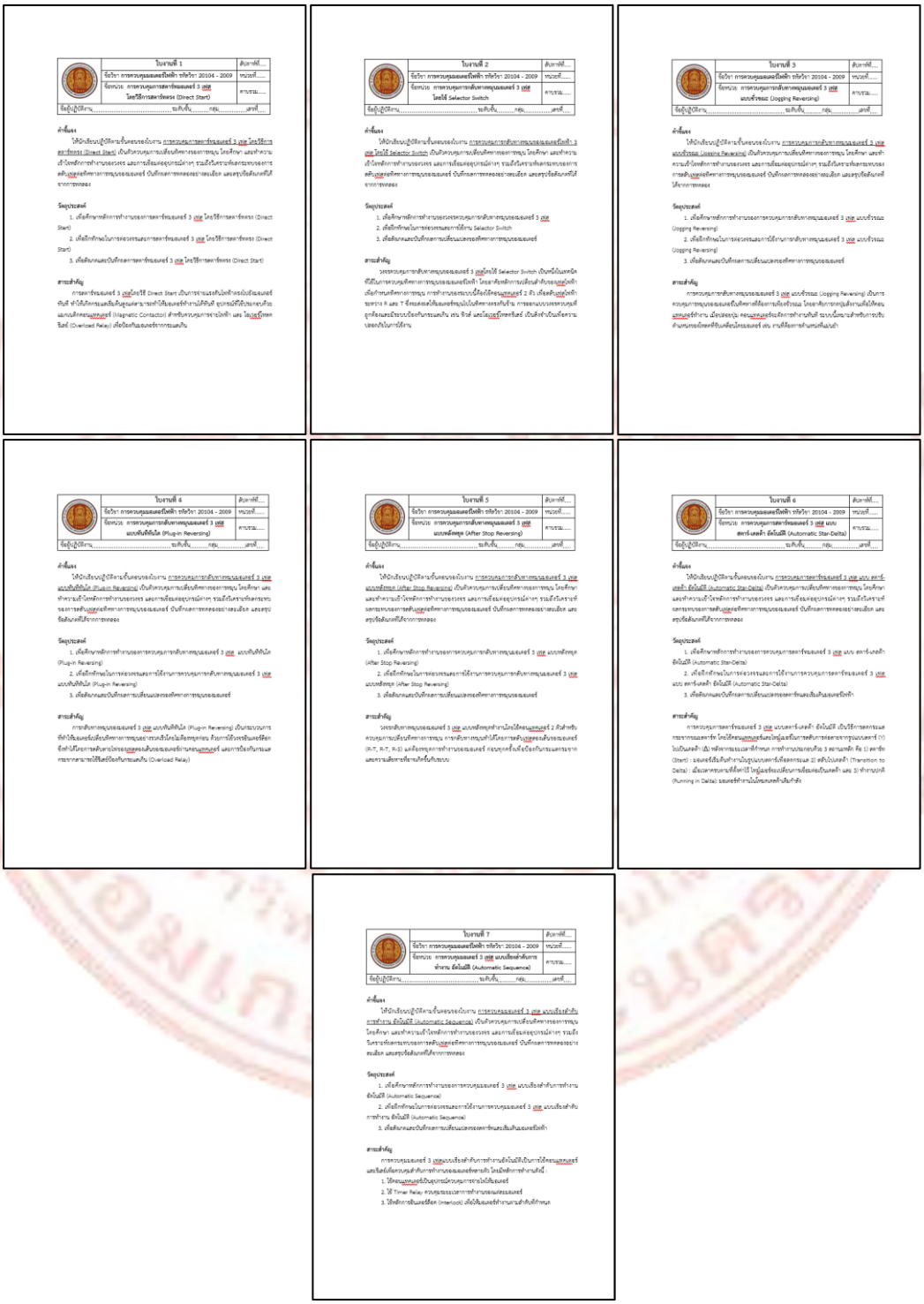
4.1.1.3.1 วัสดุที่ประกอบโครงสร้าง คือ อลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)

4.1.1.3.2 วัสดุที่ประกอบอุปกรณ์ คือ อลูมิเนียมคอมโพสิต (Aluminum Composite)

4.1.2 ใบปฏิบัติงาน

ผู้วิจัยได้จัดทำใบงานขึ้นมา เพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึกฯ โดยมีใบงานดังนี้ ใบงานที่ 1 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง (Direct Start), ใบงานที่ 2 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch, ใบงานที่ 3 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing), ใบงานที่ 4 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing), ใบงานที่ 5 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing), ใบงานที่ 6 การควบคุมการสตาร์ท

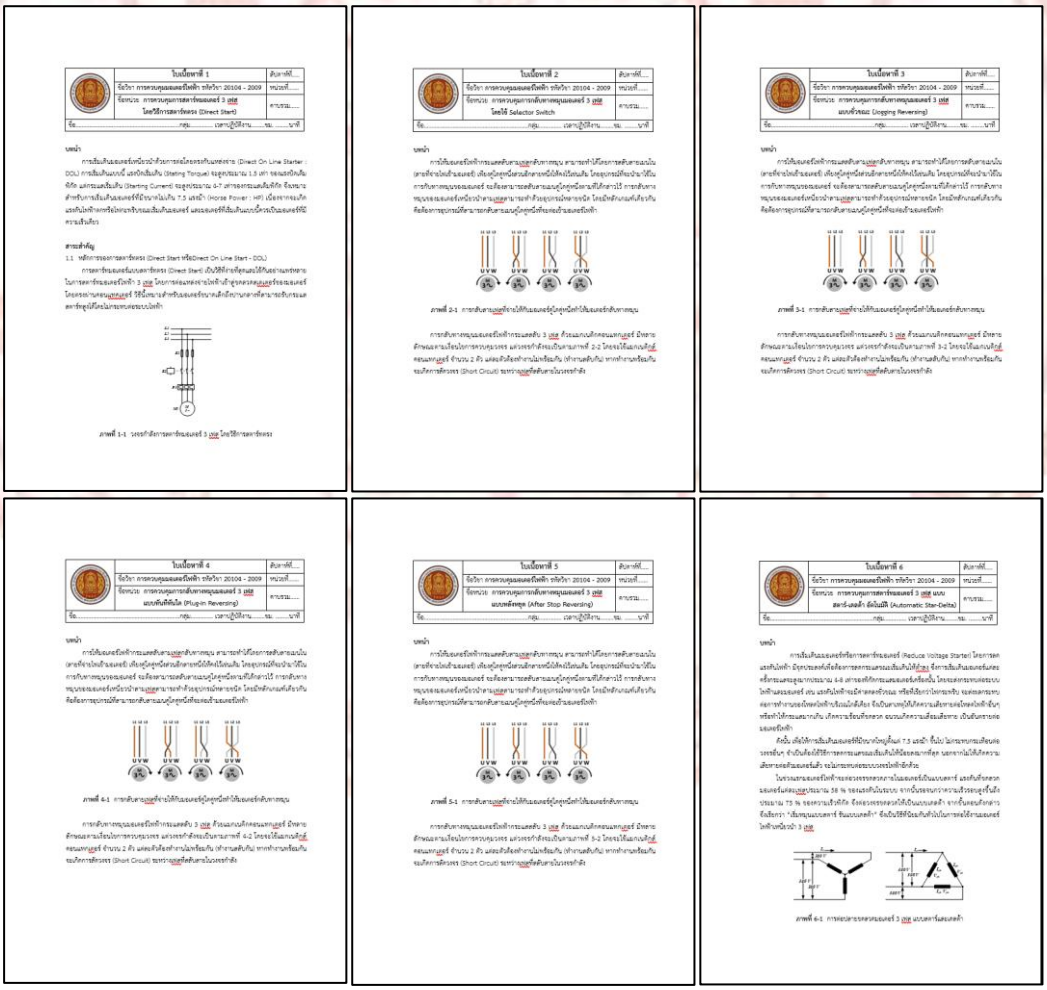
มอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star- Delta), ใบงานที่ 7 การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน อัตโนมัติ (Automatic Sequence)



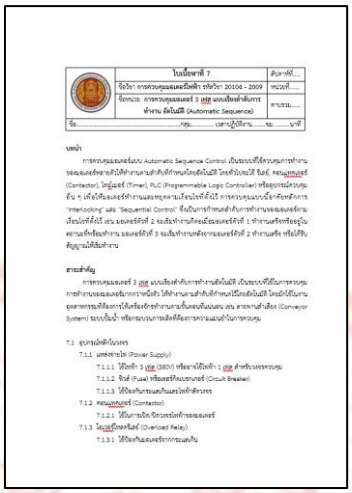
ภาพที่ 4-2 ใบงานประกอบการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึกฯ

4.1.3 ใบเนื้อหา

ผู้วิจัยได้จัดทำใบเนื้อหา ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึกฯ โดยมีใบเนื้อหา ดังนี้ ใบเนื้อหาที่ 1 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส โดยวิธีการสตาร์ทตรง (Direct Start), ใบเนื้อหาที่ 2 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch, ใบเนื้อหาที่ 3 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing), ใบเนื้อหาที่ 4 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing), ใบเนื้อหาที่ 5 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing), ใบเนื้อหาที่ 6 การควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star-Delta), ใบเนื้อหาที่ 7 การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน อัตโนมัติ (Automatic Sequence)



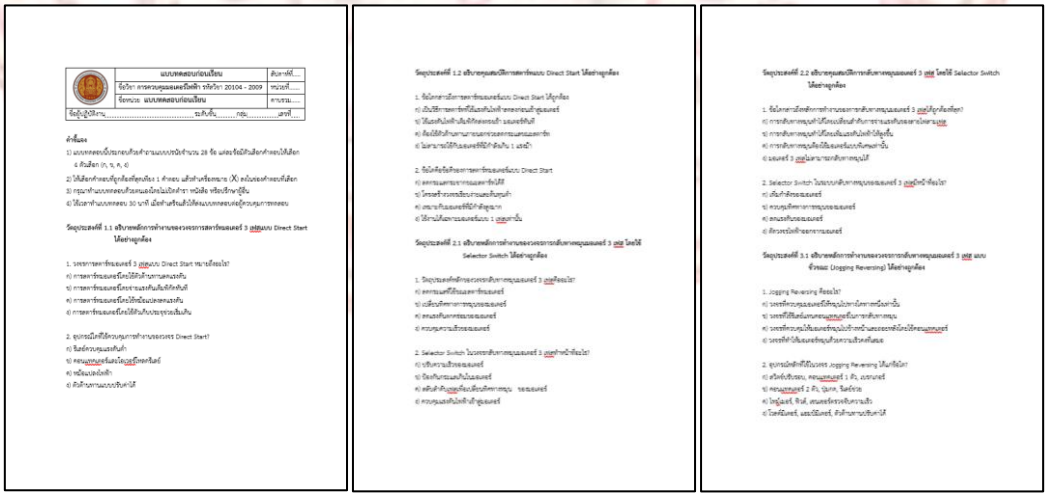
ภาพที่ 4-3 ใบเนื้อหาประกอบการเรียนรู้ควบคู่กับชุดฝึกฯ



ภาพที่ 4-3 (ต่อ)

4.1.5 แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน แบบทดสอบทั้งสองชุดได้รับการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ โดยได้รับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน มีทั้งหมด 14 วัตถุประสงค์ ๆ ละ 2 ข้อ รวมเป็น 28 ข้อ ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้แนบแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ไว้ในภาคผนวก เพื่อให้ผู้อ่านสามารถตรวจสอบรายละเอียดของข้อคำถามที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ที่ผ่านการประเมินคุณภาพแล้ว ไปใช้เก็บข้อมูลความพึงพอใจของผู้เรียนที่ใช้ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง โดยได้ทำการแจกแบบสอบถามให้ผู้เรียนที่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน ทำแบบประเมิน โดยได้ผลการประเมิน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.2.1 การนำเสนอข้อมูลผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนด้านคุณภาพของชุดการสอน

ตารางที่ 4-1 ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านคุณภาพของชุดการสอน**

รายการประเมิน	$\overline{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\overline{x}$	S.D.
1. คุณภาพของใบเนื้อหา				
1.1 เนื้อหาสาระในใบเนื้อหา ให้ความรู้ในเรื่อง การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสระดับกลาง เป็นอย่างดี	4.00	0.00	มาก	น้อย
1.2 การนำเสนอตัวอย่างในใบเนื้อหา ทำให้นักศึกษาเข้าใจในเรื่อง การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสระดับกลาง เป็นอย่างดี	4.17	0.75	มาก	น้อย
1.3 เนื้อหาสาระที่เขียน ใช้ภาษาที่อ่านแล้วนักศึกษาเข้าใจง่าย	4.33	0.52	มาก	น้อย
1.4 ปริมาณของเนื้อหาสาระในแต่ละเรื่องมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา	4.33	0.52	มาก	น้อย
1.5 การจัดเรียงลำดับการนำเสนอเนื้อหาในแต่ละเรื่อง มีการเชื่อมโยงกัน	4.33	0.82	มาก	น้อย
2. คุณภาพของแบบใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ				
2.1 ใบงานปฏิบัติช่วยให้เห็นแนวทางการเรียนรู้ ควบคู่กับการใช้ใบเนื้อหาเป็นอย่างดี	4.17	0.41	มาก	น้อย
2.2 การบันทึกสาระสำคัญในใบงาน ช่วยให้มีโอกาสได้ทบทวนเนื้อหาสาระ	4.17	0.41	มาก	น้อย
2.3 การจัดรูปแบบสาระสำคัญในใบงาน ทำให้นักศึกษาสามารถทำกิจกรรมระหว่างเรียนได้เข้าใจง่าย	4.33	0.52	มาก	น้อย
2.4 กิจกรรมในแต่ละเรื่อง สอดคล้องกับเนื้อหาสาระที่ได้เรียนรู้	4.17	0.41	มาก	น้อย

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\bar{x}$	S.D.
2.5 ปริมาณของกิจกรรมที่มอบหมายมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา	**4.17**	**0.41**	**มาก**	**น้อย**
2.6 แนวคำตอบในใบกิจกรรม ทำให้นักศึกษามีแนวทางในการตรวจสอบได้ง่าย	**4.67**	**0.52**	**มากที่สุด**	**น้อย**
3. คุณภาพของสื่อประเภทอุปกรณ์				
3.1 สื่อมีความน่าสนใจ	**4.67**	**0.52**	**มากที่สุด**	**น้อย**
3.2 มีการสาธิตการทำงานร่วมกับการบรรยาย ทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	**4.67**	**0.52**	**มากที่สุด**	**น้อย**

4.2.2 การวิเคราะห์ผลความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์ เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านคุณภาพของชุดการสอน** จากตารางที่ 4-6 วิเคราะห์ผลได้ ดังนี้

4.2.2.1 เนื้อหาสาระในใบเนื้อหา ให้ความรู้ในเรื่อง การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสระดับกลาง เป็นอย่างดี มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.2 การนำเสนอตัวอย่างในใบเนื้อหา ทำให้นักศึกษาเข้าใจในเรื่อง การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสระดับกลาง เป็นอย่างดี มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.17 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.75 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.3 เนื้อหาสาระที่เขียน ใช้ภาษาที่อ่านแล้วนักศึกษาเข้าใจง่ายมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.4 ปริมาณของเนื้อหาสาระในแต่ละเรื่องมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.5 การจัดเรียงลำดับการนำเสนอเนื้อหาในแต่ละเรื่อง มีการเชื่อมโยงกัน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.82 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.6 ใบงานปฏิบัติช่วยให้เห็นแนวทางการเรียนรู้ ควบคู่กับการใช้ใบเนื้อหาเป็นอย่างดี มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.17 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.41 อยู่ในระดับน้อย

4.2.2.7 การบันทึกสาระสำคัญในใบงาน ช่วยให้มีโอกาสได้ทบทวนเนื้อหาสาระ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.17 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.41 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.8 การจัดรูปแบบสาระสำคัญในใบงาน ทำให้นักศึกษาสามารถทำกิจกรรมระหว่างเรียนได้เข้าใจง่าย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.9 กิจกรรมในแต่ละเรื่อง สอดคล้องกับเนื้อหาสาระที่ได้เรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.17 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.41 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.10 ปริมาณของกิจกรรมที่มอบหมายมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.17 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.41 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.11 แนวคำตอบในใบกิจกรรม ทำให้นักศึกษามีแนวทางในการตรวจสอบได้ง่าย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับน้อย

4.2.2.12 สื่อมีความน่าสนใจ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.2.13 มีการสาธิตการทำงานร่วมกับการบรรยาย ทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.3 การนำเสนอข้อมูลผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้

ตารางที่ 4-2 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้**

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	**การแปลความหมาย**	
			$\bar{x}$	S.D.
1. ระดับประโยชน์ที่ได้รับจากการเรียนด้วยชุดฝึก ฯ	**4.33**	**0.52**	**มาก**	**น้อย**
2. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนวิชาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	**4.17**	**0.75**	**มาก**	**น้อย**
3. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาตนเอง	**4.33**	**0.52**	**มาก**	**น้อย**

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\bar{x}$	S.D.
4. การมีโอกาสได้ศึกษาร่วมกันและทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม เป็นการพัฒนาตนเองอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอน	**4.20**	**0.55**	**มาก**	**น้อย**
5. การใช้ชุดฝึก ฯ สร้างความมั่นใจในด้านวิชาการของนักศึกษา	**4.67**	**0.82**	**มากที่สุด**	**น้อย**
6. นักศึกษาชอบที่จะศึกษาด้วยชุดฝึก ฯ	**4.67**	**0.52**	**มากที่สุด**	**น้อย**
7. นักศึกษาจะนำความรู้ที่ได้รับ ไปเผยแพร่ให้กับบุคคลอื่นได้	**4.33**	**0.82**	**มาก**	**น้อย**
8. นักศึกษาได้รับผลลัพธ์การเรียนรู้ ตามที่คาดหวังไว้	**4.83**	**0.41**	**มากที่สุด**	**น้อย**
9. ควรสนับสนุนให้มีการใช้ชุดฝึก ฯ กับรายวิชาอื่น	**4.20**	**0.84**	**มาก**	**น้อย**
10. ภาพรวมของนักศึกษาที่มีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง	**4.83**	**0.41**	**มากที่สุด**	**น้อย**

4.2.4 การวิเคราะห์ผลความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์ เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้** จากตารางที่ 4-7 วิเคราะห์ผลได้ ดังนี้

4.2.4.1 ระดับประโยชน์ที่ได้รับจากการเรียนด้วยชุดฝึก ฯ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.2 การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนวิชาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.17 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.75 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.3 การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาตนเอง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.52 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.4 การมีโอกาสได้ศึกษาร่วมกันและทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม เป็นการพัฒนาตนเองอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.20 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.55 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.2 การใช้ชุดฝึก ฯ สร้างความมั่นใจในด้านวิชาการของนักศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.82 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.6 นักศึกษาชอบที่จะศึกษาด้วยชุดฝึก ฯ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.82 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.7 นักศึกษาจะนำความรู้ที่ได้รับ ไปเผยแพร่ให้กับบุคคลอื่นได้ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.82 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.8 นักศึกษาได้รับผลลัพธ์การเรียนรู้ ตามที่คาดหวังไว้ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.83 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.41 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.9 ควรสนับสนุนให้มีการใช้ชุดฝึก ฯ กับรายวิชาอื่น มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.20 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.84 อยู่ในระดับ น้อย

4.2.4.10 ภาพรวมของนักศึกษาที่มีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.83 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.41 อยู่ในระดับ น้อย

4.3 ผลการหาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

การหาค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ของชุดฝึกหรือสื่อการเรียนการสอน สามารถหาได้จากสมการ E_1/E_2 ของศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ พรหมวงศ์ โดยนำค่าประสิทธิภาพ E_1 คือ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ มาเทียบกับค่าประสิทธิภาพ E_2 คือค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ มีการใช้แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) และคะแนนของใบปฏิบัติงาน

ตารางที่ 4-3 ความแตกต่างคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนและแบบทดสอบคะแนนหลังเรียน

คะแนนทดสอบ	จำนวน	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	t	Sig.
ก่อนเรียน	19	22	10.78	1.78	23.39	.000**
หลังเรียน	19	22	23.00	1.79		

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4-3 ความแตกต่างคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนและแบบทดสอบคะแนนหลังเรียน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนกลุ่มเป้าหมายในการวิจัยนี้ จำนวน 19 คน จากค่าเฉลี่ยของคะแนนการทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง โดยแบบทดสอบมีคะแนนเต็ม 22 คะแนน พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 10.78 คะแนน ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

1.78 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 23 คะแนน ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
1.79 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคะแนน การทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน ของกลุ่มเป้าหมายมีค่า t-test เท่ากับ 23.39 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 4-4 ผลคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบหลังเรียน และใบปฏิบัติงาน

นักเรียน 19 คน	ก่อนเรียน	ใบปฏิบัติงาน								ก่อนเรียน
		1	2	3	4	5	6	7	รวม	
1	12	50	50	40	30	35	30	40	275	22
2	10	50	40	50	40	50	40	45	315	20
3	12	50	50	45	40	45	45	40	315	26
4	8	35	40	40	40	30	30	40	255	24
5	10	40	40	50	40	50	30	40	290	24
6	10	45	40	30	40	50	40	40	285	22
7	12	45	40	40	40	50	30	40	285	20
8	8	40	50	30	50	40	30	40	280	22
9	12	35	40	40	50	40	40	40	285	22
10	10	40	50	40	40	30	30	40	270	24
11	7	30	40	40	30	50	30	40	260	22
12	12	40	50	50	40	30	40	30	280	22
13	10	50	30	40	50	30	40	40	280	24
14	12	40	40	30	40	40	30	40	260	22
15	10	40	30	40	30	50	40	40	270	24
16	12	50	50	40	40	40	40	40	300	23
17	14	40	40	50	40	50	40	40	300	26
18	12	35	50	40	40	50	40	40	295	22
19	12	40	50	50	40	50	40	40	310	26
รวม	205.00	795.00	820.00	785.00	760.00	810.00	685.00	755.00	5410.00	437.00
เฉลี่ย	10.79	41.84	43.16	41.32	40.00	42.63	36.05	39.74	284.74	23.00

4.3.1 การหาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

4.3.1.1 คะแนน E1 หรือ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ มีค่า เท่ากับ 81.35

4.3.1.2 คะแนน E2 หรือ ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ มีค่า เท่ากับ 82.14

4.3.2 ผลการหาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

จากผลคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียน ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4-4 สามารถนำมาหาค่า E1/E2 ได้เท่ากับ 81.35/82.14 สรุปได้ว่า คะแนน E2 มากกว่า E1 จากการสรุปคะแนน สามารถสรุปได้ว่า ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง มีประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์ 80/80

บทที่ 5
สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง ผู้วิจัยได้ดำเนินตามขั้นตอนและกระบวนการต่าง ๆ เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ศึกษา สร้างเป็นเครื่องมือวิจัยที่มีคุณภาพ เพื่อนำไปเก็บรวมรวบข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ ผลการวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ ในบทที่ 5 นี้ ผู้วิจัยขอเสนอข้อสรุป และอภิปรายผล ของการวิจัยครั้งนี้ ตามหัวข้อดังนี้

5.1 ข้อสรุป

5.2 อภิปราย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

การวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง ครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง และ 2) หาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ผลการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1.1.1 ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

5.1.1.2 ใบปฏิบัติงาน

5.1.1.3 เฉลยใบปฏิบัติงาน

5.1.1.4 ใบเนื้อหา

5.1.1.5 แบบทดสอบก่อนเรียน และแบบทดสอบหลังเรียน

5.1.2 ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.83 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.41 อยู่ในระดับ น้อย

5.1.3 ค่า E1/E2 ได้เท่ากับ 81.35/82.14 สรุปได้ว่า คะแนน E_2 มากกว่า E_1 จากการสรุปคะแนน สามารถสรุปได้ว่า ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง มีประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์ 80/80

5.1.4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคะแนน การทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนของกลุ่มเป้าหมายมีค่า t-test เท่ากับ 23.39 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

5.2 อภิปราย

ผู้วิจัยของนำผลการเก็บข้อมูลจากแบบประเมินและแบบสอบถาม มาอภิปรายผลการวิจัยในครั้งนี้

5.2.1 คุณภาพเครื่องมือวิจัย

5.2.1.1 คุณภาพแบบประเมินคุณภาพสื่อ/นวัตกรรมการเรียนการสอน

5.2.1.1.1 ด้านเนื้อหาและกิจกรรม

คุณภาพของเนื้อหาและกิจกรรมในชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการได้รับการประเมินโดยรวมในระดับ "มาก" โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.33 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในระดับ ต่ำ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของชุดฝึกสำหรับการใช้งานในระดับกลางและสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในการเรียนการสอนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.1.1.2 ด้านการวัดและประเมินผล

แบบทดสอบและใบงานที่ใช้ในการวิจัย มีคุณภาพที่ดี โดยได้รับการประเมินว่า เหมาะสม สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และสามารถวัดผลการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในระดับต่ำ สะท้อนถึงความสม่ำเสมอของการประเมิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนต่อไปได้อย่างมั่นใจ

5.2.1.1.3 ด้านเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา

ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ทั้งในด้านเนื้อหา กิจกรรม และการออกแบบ ซึ่งช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย การออกแบบกิจกรรมที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และการจัดรูปแบบที่เหมาะสมกับการเรียนการสอนทางด้านเทคโนโลยีและการสื่อสารการศึกษา

5.2.1.2 คุณภาพแบบสอบถามความพึงพอใจ

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษามีคุณภาพดี เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้วัดระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ข้อคำถามมี

ความชัดเจนและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย และมีการจัดลำดับอย่างเหมาะสม ทำให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.2 ความพึงพอใจของผู้เรียน

5.2.2.1 ด้านคุณภาพของชุดการสอน

ใบเนื้อหาและใบงานปฏิบัติมีคุณภาพดีมาก เหมาะสมกับการเรียนรู้ เนื้อหามีความครบถ้วน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย และจัดลำดับอย่างเหมาะสม กิจกรรมและใบงานช่วยให้นักศึกษาได้ฝึกปฏิบัติจริง และสามารถทบทวนความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้สื่อและการสาธิตช่วยเสริมความเข้าใจ ทำให้การเรียนรู้ไม่น่าเบื่อ

5.2.2.2 ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้

นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการในระดับ มากถึงมากที่สุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ต่ำในทุกข้อ สะท้อนถึงความเห็นที่ไปในทิศทางเดียวกัน ชุดฝึกมีประโยชน์ในการพัฒนาความรู้ ความสามารถ การทำงานร่วมกัน และสร้างความมั่นใจให้กับนักศึกษา ควรสนับสนุนให้มีการนำชุดฝึกไปใช้กับรายวิชาอื่น ๆ และขยายโอกาสการเรียนรู้ให้ครอบคลุมมากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื้อหาและกิจกรรม ควรพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้รองรับการใช้งานในระดับที่กว้างขึ้น รวมถึงการปรับปรุงกิจกรรมให้มีความหลากหลายมากขึ้น

5.3.2 การวัดและประเมินผล ควรพัฒนารูปแบบข้อสอบและใบงานให้มีความท้าทายมากขึ้น เพื่อช่วยกระตุ้นการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียน

5.3.3 เทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา ควรเสริมการใช้สื่อดิจิทัลและเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้

5.3.4 ควรปรับปรุงแบบสอบถามให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกได้มากขึ้น เช่น การเพิ่มคำถามปลายเปิด เพื่อให้ได้รับข้อมูลที่เป็นเชิงคุณภาพ

5.3.5 คุณภาพของชุดการสอน ควรมีการพัฒนาเนื้อหาและใบงานให้รองรับกลุ่มผู้เรียนที่มีพื้นฐานแตกต่างกัน รวมถึงเพิ่มตัวอย่างหรือกรณีศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งขึ้น

5.3.6 ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้ ควรส่งเสริมให้มีการนำชุดฝึกไปปรับใช้กับรายวิชาอื่น และพัฒนาให้สามารถรองรับการเรียนรู้แบบออนไลน์หรือแบบผสมผสาน (Blended Learning) เพื่อขยายโอกาสการเรียนรู้ให้กว้างขึ้น

บรรณานุกรม

กิตติศักดิ์ คงสีไพร. (2565). “การพัฒนาชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อส่งเสริมทักษะการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.” **วารสารครุพิบูล**. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 : 260-273.

กรมประชาสัมพันธ์. (2567). [ออนไลน์]. **แรงงานฝีมือในไทยขาดแคลน?**. [สืบค้นเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2567]. จาก https://www.prd.go.th/th/content/category

กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลตลาดแรงงาน กองบริหารข้อมูลตลาดแรงงาน กรมการจัดหางาน. (2567). [ออนไลน์]. **สถิติความต้องการแรงงานรายจังหวัด เดือนเมษายน 2567**. [สืบค้นเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2567]. จาก https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/lmia_th

คาราม สินธุระหัฐ. (2562). **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. จำนวน 3,000 เล่ม. นนทบุรี : บริษัทศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). “การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน.” **วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย**. ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 : 7-20.

ดุสิต สูรย์ราช. (2559). **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.

ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล. (2558). **เครื่องกลไฟฟ้า 2**. พิมพ์ครั้งที่ 1. จำนวน 2,000 เล่ม. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.

นพ มหิษานนท์. (2564). **ระบบและวจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : คอร์ฟังชั่น

นรินทร์ สีหะนาม. (2565). **การพัฒนาหลักสูตรระบบะ IOT สำหรับเครื่องนับชิ้นงานอัตโนมัติ**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ปรีดา ทาไธสงค์. (2565). **ชุดปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

ธนิศร์ พันธุ์ประยูร. (2563). “การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วย Programmable Logic Controller สำหรับนักเรียนนักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 2 แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยการอาชีพเชียงราย.” **ครุสภาวิทยาจารย์**. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 : 75-85.

ไพฑูรย์ เรืองเพ็ง และประทีป อภัยแสน. (2563). **การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. จำนวน 3,000 เล่ม. นนทบุรี : บริษัทศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

วิจิตรา ศิริวงศ์ และประสิทธิ์ สระทอง. (2562). “การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน Classroom Action Research.” **วารสารสิรินธรปริทรรศน์**. ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 : 200-213.

วุฒิชัย รักชาติ. (2557). **การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์

สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย จังหวัดตราด. (2567). [ออนไลน์]. **ต้องมีความสามารถด้านไหนถึงจะเป็นที่ต้องการของตลาดแรงงาน**. [สืบค้นเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2567]. จาก https://radiotrat.prd.go.th/th/content/category/detail/id/898/iid/336297.

สมพร อ่อนเกตุพล. (2558). **การพัฒนาชุดฝึกทักษะการต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส สำหรับนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง**. แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคลำพูน.

สุนันทา สุนทรประเสริฐ. (2545). “วิจัยในชั้นเรียนอย่างง่ายๆ แบบวิจัยหน้าเดียว.” **วารสารวิทยบริการ**. ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 : 1-6.

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, กรม. (2562). **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง**. สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ.

อิทธิเดช ชัยสิทธิ์. (2562). **การพัฒนาชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขางานไฟฟ้ากำลัง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อำนาจ ทองผาสุก และวิทยา ประยงค์พันธุ์. (ม.ป.ป.). **วงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยคอนแทคเตอร์**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

This is Mendeley biography

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมือวิจัย

1. รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติรัตน์ แสงเลิศอุทัย

คุณวุฒิ : การศึกษาดุษฎีบัณฑิต (การวิจัยและพัฒนาหลักสูตร) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ตำแหน่ง : อาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ประเมินด้าน : การวัดและประเมินผล, เนื้อหาและกิจกรรมการ

2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา หินอ่อน

คุณวุฒิ : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา

ตำแหน่ง : อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประเมินด้าน : สื่อเทคโนโลยีสารสนเทศทางการศึกษา, การวัดและประเมินผล

3. ดร.สุนทรไพท จันทระ

คุณวุฒิ : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ตำแหน่ง : ผู้อำนวยการวิทยาลัยการอาชีพอุดรธานี

ประเมินด้าน : เนื้อหาและกิจกรรม, สื่อเทคโนโลยีสารสนเทศทางการศึกษา

4. นายปรัชญา เยาวลักษณ์

คุณวุฒิ : ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ตำแหน่ง : ครูชำนาญการพิเศษ สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี

ประเมินด้าน : แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบ, แบบประเมินคุณภาพแบบสอบถามความพึงพอใจ, เนื้อหาและกิจกรรมการ

5. นายวสุศักดิ์ ชุรินทร

คุณวุฒิ : ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ตำแหน่ง : ครูชำนาญการพิเศษ สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี

ประเมินด้าน : แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบ, แบบประเมินคุณภาพแบบสอบถามความพึงพอใจ, การวัดและประเมินผล

6. นายจิตรกร มะเมียเมือง

คุณวุฒิ : ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ตำแหน่ง : ครู สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี

ประเมินด้าน : แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบ, แบบประเมินคุณภาพแบบสอบถามความพึงพอใจ, สื่อเทคโนโลยีสารสนเทศทางการศึกษา

ภาคผนวก ข

แบบประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และผลการประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านเนื้อหาและกิจกรรม**

รายการประเมิน	**ระดับการประเมินคุณภาพ**					**ข้อเสนอแนะ**
	ดีมาก	**ดี**	**ปานกลาง**	**น้อย**	**น้อยที่สุด**	
1. คุณภาพของเนื้อหาสาระ						
1.1 เนื้อหามีความถูกต้อง						
1.2 เนื้อหามีความทันสมัย						
1.3 ปริมาณเนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการเรียนรู้						
1.4 ความสอดคล้องของเนื้อหากับวัตถุประสงค์						
1.5 การจัดลำดับของเนื้อหา เรียงจากง่ายไปหายาก						
1.6 เนื้อหาสาระ เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเรียนของนักศึกษา						
1.7 เนื้อหามีความน่าสนใจ						
1.8 ภาษาในเนื้อหาอ่านแล้วเข้าใจง่าย						
1.9 การยกตัวอย่างประกอบเนื้อหามีความสอดคล้องกัน สามารถ						

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
เทียบเคียงร่วมกับข้อความและภาพช่วยให้เข้าใจเนื้อหาดีขึ้น						
2. กิจกรรมในใบงาน						
2.1 กิจกรรมมีความสอดคล้องกันกับวัตถุประสงค์						
2.2 คำชี้แจงในการทำกิจกรรมมีความชัดเจน						
2.3 กิจกรรมเน้นการฝึกคิดวิเคราะห์และสรุปแบบคิดรวบยอดของเนื้อหาเป็นอย่างดี						
2.4 ปริมาณกิจกรรมมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา						
2.5 ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการทำกิจกรรมในใบงาน						
2.6 แบบทดสอบก่อนเรียนมีคุณภาพเหมาะสม						
2.7 ใบงานมีคุณภาพเหมาะสม						
2.8 โดยภาพรวม คุณภาพของเนื้อหาและกิจกรรมในชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง						

การประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง **ด้านการวัดและประเมินผล**

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
1. แบบทดสอบก่อนเรียน						
1.1 แบบทดสอบก่อนเรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์						
1.2 แบบทดสอบก่อนเรียน คู่ขนานกับแบบทดสอบหลังเรียน						
1.3 ข้อคำถามในแบบทดสอบก่อนเรียน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีความชัดเจน						
1.4 ตัวเลือกมีประสิทธิภาพในการลวงผู้เรียน						
1.5 มีข้อถูกที่สุดเพียงข้อเดียว						
1.6 มีการจัดเรียงตัวเลือกในแต่ละข้ออย่างสวยงาม เหมาะสม						
1.7 ตัวเลือกมีความเป็นเอกภาพและเป็นกลุ่มหรือชุดเดียวกัน						
1.8 ตัวเลือกถูกต้อง มีความยาวไม่เกินกว่าตัวเลือกอื่น						
2. แบบทดสอบหลังเรียน						
2.1 แบบทดสอบหลังเรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์						
2.2 แบบทดสอบหลังเรียน คู่ขนานกับแบบทดสอบก่อนเรียน						

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
2.3 ข้อคำถามในแบบทดสอบหลังเรียน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีความชัดเจน						
2.4 ตัวเลือกมีประสิทธิภาพในการลวงผู้เรียน						
2.5 มีข้อถูกที่สุดเพียงข้อเดียว						
2.6 มีการจัดเรียงตัวเลือกในแต่ละข้ออย่างสวยงาม เหมาะสม						
2.7 ตัวเลือกมีความเป็นเอกภาพและเป็นกลุ่มหรือชุดเดียวกัน						
2.8 ตัวเลือกถูกต้อง มีความยาวไม่เกินกว่าตัวเลือกอื่น						
3. ใบงาน						
3.1 ใบงาน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์สำหรับทำกิจกรรม						
3.2 ใบงาน มีความสอดคล้องกับเนื้อหา						
3.3 ใบงาน ความระดับความยากง่ายเหมาะสมกับนักเรียน						
3.4 การออกแบบใบงานมีความชัดเจนในข้อคำถามและคำสั่งของกิจกรรม						
3.5 การออกแบบใบงาน มีความเรียบร้อย เป็นระเบียบสวยงาม						
3.6 การออกแบบใบงาน มีความน่าสนใจ การใช้ภาพและข้อความประกอบ						

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
3.7 รูปแบบกิจกรรมในใบงานกระตุ้นความคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาเชื่อมโยงความรู้และทำงานร่วมกัน						
4. คุณภาพของแบบทดสอบและใบงาน						
4.1 คุณภาพของแบบทดสอบก่อนเรียน						
4.2 คุณภาพของแบบทดสอบหลังเรียน						
4.3 คุณภาพใบงาน						

การประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง **ด้านเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา**

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
1. เอกสารประกอบการเรียนการสอน						
1.1 การจัดรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาสาระในชุดสาระการเรียนรู้ (เอกสารประกอบการสอนแบบกิจกรรมกลุ่ม)						
1.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร						
1.3 เนื้อหาสาระ เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ของนักศึกษา						
1.4 ภาษาในเนื้อหาอ่านแล้วเข้าใจง่าย						
1.5 การเปรียบเทียบหรือยกตัวอย่างประกอบ มีความสอดคล้องกับเนื้อหาและภาพ ช่วยให้นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น						
2. ใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ						
2.1 การออกแบบและจัดรูปแบบของใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ มีความชัดเจน เป็นหมวดหมู่ ใช้ง่าย						
2.2 การกำหนดหัวข้อ พร้อมการเว้นที่ว่างสำหรับการบันทึกสาระสำคัญของนักศึกษา มีความสวยงามเหมาะสมดี						

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
2.3 กิจกรรมมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเนื้อหา						
2.4 คำชี้แจงในการทำกิจกรรม มีความชัดเจน						
2.5 กิจกรรม เน้นการได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ร่วมกันเรียนรู้ คิด วิเคราะห์และสรุปผล						
2.6 ปริมาณของกิจกรรมมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา						
2.7 ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการทำกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ						
3. ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง						
3.7 มีการออกแบบ ขนาดและโครงสร้างเหมาะสม						
3.8 ครอบคลุมหัวข้อการสอนแบบกิจกรรมกลุ่ม						
3.3 การจัดวางรูปแบบเหมาะสม						
3.4 ความเหมาะสมของสีพื้น						
3.5 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร						
3.6 ความถูกต้องของการพิมพ์ข้อความ						
3.9 เหมาะสมกับระดับการศึกษาและกิจกรรมการสอนการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า						

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
4. ภาพรวมของสื่อ						
4.1 คุณภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง						

แบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจ

รายการประเมิน	ระดับการประเมินคุณภาพ					ข้อเสนอแนะ
	ดีมาก	๔	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
1. ข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์						
2. ข้อคำถามมีความชัดเจน						
3. ใช้ภาษาที่อ่านแล้วเข้าใจง่าย						
4. ปริมาณของข้อคำถามมีความเหมาะสม						
5. ข้อคำถามแต่ละข้อมีความเป็นเอกภาพชัดเจน						
6. ข้อคำถามแต่ละข้อมีความเป็นอิสระในการในการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา						
7. การจัดเรียงลำดับการนำเสนอในแต่ละข้อคำถามเหมาะสม						
8. ภาพรวม คุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง						

ผลการประเมินคุณภาพแบบประเมินคุณภาพสื่อ/นวัตกรรมการเรียนการสอน

ตารางที่ ข-1 ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านเนื้อหาและกิจกรรม**

รายการประเมิน	$\overline{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\overline{x}$	S.D.
1. คุณภาพของเนื้อหาสาระ				
1.1 เนื้อหามีความถูกต้อง	**4.33**	**1.15**	**มาก**	**ปานกลาง**
1.2 เนื้อหามีความทันสมัย	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
1.3 ปริมาณเนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการเรียนรู้	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
1.4 ความสอดคล้องของเนื้อหากับวัตถุประสงค์	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
1.5 การจัดลำดับของเนื้อหา เรียงจากง่ายไปหายาก	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
1.6 เนื้อหาสาระ เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเรียนของนักศึกษา	**4.33**	**1.15**	**มาก**	**ปานกลาง**
1.7 เนื้อหามีความน่าสนใจ	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
1.8 ภาษาในเนื้อหาอ่านแล้วเข้าใจง่าย	**4.67**	**0.58**	**มากที่สุด**	**น้อย**
1.9 การยกตัวอย่างประกอบเนื้อหา มีความสอดคล้องกัน สามารถเทียบเคียงร่วมกับข้อความและภาพช่วยให้เข้าใจเนื้อหาดีขึ้น	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2. กิจกรรมในใบงาน				
2.1 กิจกรรมมีความสอดคล้องกันกับวัตถุประสงค์	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2.2 คำชี้แจงในการทำกิจกรรมมีความชัดเจน	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
2.3 กิจกรรมเน้นการฝึกคิดวิเคราะห์และสรุปแบบคิด รวบยอดของเนื้อหาเป็นอย่างดี	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\bar{x}$	S.D.
2.4 ปริมาณกิจกรรมมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
2.5 ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการทำกิจกรรมในใบงาน	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
2.6 แบบทดสอบก่อนเรียนมีคุณภาพเหมาะสม	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
2.7 ใบงานมีคุณภาพเหมาะสม	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2.8 โดยภาพรวม คุณภาพของเนื้อหาและกิจกรรมในชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**

เนื้อหามีความถูกต้อง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.15 อยู่ในระดับ น้อย

เนื้อหามีความทันสมัย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.15 อยู่ในระดับ น้อย

ปริมาณเนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ความสอดคล้องของเนื้อหากับวัตถุประสงค์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

การจัดลำดับของเนื้อหา เรียงจากง่ายไปยาก มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

เนื้อหาสาระ เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเรียนของนักศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.15 อยู่ในระดับ ปานกลาง

เนื้อหามีความน่าสนใจ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ภาษาในเนื้อหาอ่านแล้วเข้าใจง่าย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

การยกตัวอย่างประกอบเนื้อหา มีความสอดคล้องกัน สามารถเชื่อมโยงกับข้อความและภาพช่วยให้เข้าใจเนื้อหาดีขึ้น มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

กิจกรรมมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

กิจกรรมในการทำกิจกรรมมีความชัดเจน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

กิจกรรมเน้นการฝึกคิดวิเคราะห์และสรุปแบบคิดรวบยอดของเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ปริมาณกิจกรรมมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการทำกิจกรรมในใบงาน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

แบบทดสอบก่อนเรียนมีคุณภาพเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย)

ใบงานมีคุณภาพเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

โดยภาพรวม คุณภาพของเนื้อหาและกิจกรรมในชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์ เหมาะสมในระดับกลาง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

ตารางที่ ข-2 ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านการวัดและประเมินผล**

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\bar{x}$	S.D.
1. แบบทดสอบก่อนเรียน				
1.1 แบบทดสอบก่อนเรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
1.2 แบบทดสอบก่อนเรียน คู่ขนานกับแบบทดสอบหลังเรียน	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
1.3 ข้อคำถามในแบบทดสอบก่อนเรียน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีความชัดเจน	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
1.4 ตัวเลือกมีประสิทธิภาพในการลวงผู้เรียน	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
1.5 มีข้อถูกที่สุดเพียงข้อเดียว	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
1.6 มีการจัดเรียงตัวเลือกในแต่ละข้ออย่างสวยงามเหมาะสม	**4.67**	**0.58**	**มากที่สุด**	**น้อย**
1.7 ตัวเลือกมีความเป็นเอกภาพ และเป็นกลุ่มหรือชุดเดียวกัน	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
1.8 ตัวเลือกถูกต้อง มีความยาวไม่เกินกว่าตัวเลืออื่น	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
2. แบบทดสอบหลังเรียน				
2.1 แบบทดสอบหลังเรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2.2 แบบทดสอบหลังเรียน คู่ขนานกับแบบทดสอบก่อนเรียน	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2.3 ข้อคำถามในแบบทดสอบหลังเรียน ใช้ภาษาที่เข้าใง่าย มีความชัดเจน	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
2.4 ตัวเลือกมีประสิทธิภาพในการลวงผู้เรียน	**4.67**	**0.58**	**มากที่สุด**	**น้อย**
2.5 มีข้อถูกที่สุดเพียงข้อเดียว	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2.6 มีการจัดเรียงตัวเลือกในแต่ละข้ออย่างสวยงามเหมาะสม	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\bar{x}$	S.D.
2.7 ตัวเลือกมีความเป็นเอกภาพ และเป็นกลุ่มหรือชุดเดียวกัน	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
2.8 ตัวเลือกถูกต้อง มีความยาวไม่เกินกว่าตัวเลือกอื่น	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
3. ใบงาน				
3.1 ใบงาน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์สำหรับทำกิจกรรม	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
3.2 ใบงาน มีความสอดคล้องกับเนื้อหา	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
3.3 ใบงาน ความระดับความยากง่ายเหมาะสมกับนักเรียน	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
3.4 การออกแบบใบงานมีความชัดเจนในข้อคำถามและ คำสั่งของกิจกรรม	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
3.5 การออกแบบใบงาน มีความเรียบร้อย เป็นระเบียบสวยงาม	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
3.6 การออกแบบใบงาน มีความน่าสนใจ การใช้ภาพและข้อความประกอบ	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
3.7 รูปแบบกิจกรรมในใบงาน กระตุ้นความคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาเชื่อมโยงความรู้และทำงานร่วมกัน	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
4. คุณภาพของแบบทดสอบและใบงาน				
4.1 คุณภาพของแบบทดสอบก่อนเรียน	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
4.2 คุณภาพของแบบทดสอบหลังเรียน	**4.67**	**0.58**	**มากที่สุด**	**น้อย**
4.3 คุณภาพใบงาน	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**

แบบทดสอบก่อนเรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

แบบทดสอบก่อนเรียน คู่ขนานกับแบบทดสอบหลังเรียน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ข้อคำถามในแบบทดสอบก่อนเรียน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีความชัดเจน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ตัวเลือกมีประสิทธิภาพในการลวงผู้เรียน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

มีข้อถูกที่สุดเพียงข้อเดียว มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

มีการจัดเรียงตัวเลือกในแต่ละข้ออย่างสวยงาม เหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.67 อยู่ในระดับมากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

ตัวเลือกมีความเป็นเอกภาพ และเป็นกลุ่มหรือชุดเดียวกัน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับมาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ตัวเลือกถูกต้อง มีความยาวไม่เกินกว่าตัวเลือกอื่น มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

แบบทดสอบหลังเรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับมาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

แบบทดสอบหลังเรียน คู่ขนานกับแบบทดสอบก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับมาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ข้อคำถามในแบบทดสอบหลังเรียน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีความชัดเจน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

ตัวเลือกมีประสิทธิภาพในการลวงผู้เรียน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 058 อยู่ในระดับ น้อย

มีข้อถูกที่สุดเพียงข้อเดียว มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

มีการจัดเรียงตัวเลือกในแต่ละข้ออย่างสวยงาม เหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับมาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ตัวเลือกมีความเป็นเอกภาพ และเป็นกลุ่มหรือชุดเดียวกัน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับมาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

ตัวเลือกถูกต้อง มีความยาวไม่เกินกว่าตัวเลือกอื่น มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

ใบงาน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์สำหรับทำกิจกรรม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

ใบงาน มีความสอดคล้องกับเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

ใบงาน ความระดับความยากง่ายเหมาะสมกับนักเรียน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

การออกแบบใบงานมีความชัดเจนในข้อคำถามและ คำสั่งของกิจกรรม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

การออกแบบใบงาน มีความเรียบร้อย เป็นระเบียบสวยงาม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

การออกแบบใบงาน มีความน่าสนใจ การใช้ภาพและข้อความประกอบ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

รูปแบบกิจกรรมในใบงาน กระตุ้นความคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาเชื่อมโยงความรู้และทำงานร่วมกัน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

คุณภาพของแบบทดสอบก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

คุณภาพของแบบทดสอบหลังเรียน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

คุณภาพใบงาน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

ตารางที่ ข-3 ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง **ด้านเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา**

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\bar{x}$	S.D.
1. เอกสารประกอบการเรียนการสอน				
1.1 การจัดรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาสาระในชุดสาระการเรียนรู้ (เอกสารประกอบการสอนแบบ)	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
1.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
1.3 เนื้อหาสาระ เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ของนักศึกษา	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
1.4 ภาษาในเนื้อหาอ่านแล้วเข้าใจง่าย	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
1.5 การเปรียบเทียบหรือยกตัวอย่างประกอบ มีความสอดคล้องกับเนื้อหาและภาพ ช่วยให้นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2. ใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ				
2.1 การออกแบบและจัดรูปแบบของใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ มีความชัดเจน เป็นหมวดหมู่ ใช้ง่าย	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2.2 การกำหนดหัวข้อ พร้อมการเว้นที่ว่างสำหรับการบันทึกสาระสำคัญของนักศึกษา มีความสวยงามเหมาะสมดี	**4.33**	**1.15**	**มาก**	**ปานกลาง**
2.3 กิจกรรมมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเนื้อหา	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
2.4 คำชี้แจงในการทำกิจกรรม มีความชัดเจน	**4.67**	**0.58**	**มากที่สุด**	**น้อย**
2.5 กิจกรรม เน้นการได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ร่วมกันเรียนรู้ คิด วิเคราะห์และสรุปผล	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
2.6 ปริมาณของกิจกรรมมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา	**4.33**	**1.15**	**มาก**	**ปานกลาง**
2.7 ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการทำกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

3. ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง				
3.1 มีการออกแบบ ขนาดและโครงสร้างเหมาะสม	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
3.2 ครอบคลุมหัวข้อการสอนแบบกิจกรรมกลุ่ม	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
3.3 การจัดวางรูปแบบเหมาะสม	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
3.4 ความเหมาะสมของสีพื้น	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
3.5 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
3.6 ความถูกต้องของการพิมพ์ข้อความ	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
3.7 เหมาะสมกับระดับการศึกษาและกิจกรรมการสอนการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
4. ภาพรวมของสื่อ				
4.1 คุณภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**

การจัดรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาสาระในชุดสาระการเรียนรู้ (เอกสารประกอบการสอน) มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

เนื้อหาสาระ เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ของนักศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ภาษาในเนื้อหาอ่านแล้วเข้าใจง่าย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

การเปรียบเทียบหรือยกตัวอย่างประกอบ มีความสอดคล้องกับเนื้อหาและภาพ ช่วยให้นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

การออกแบบและจัดรูปแบบของใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ มีความชัดเจน เป็นหมวดหมู่ ใช้ง่าย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

การกำหนดหัวข้อ พร้อมการเว้นที่ว่างสำหรับการบันทึกสาระสำคัญของนักศึกษา มีความสวยงามเหมาะสมดี มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.15 อยู่ในระดับ ปานกลาง

กิจกรรมมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

คำชี้แจงในการทำกิจกรรม มีความชัดเจน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.67 อยู่ในระดับ มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

กิจกรรม เน้นการได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ร่วมกันเรียนรู้ คิด วิเคราะห์และสรุปผล มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ปริมาณของกิจกรรมมีความเหมาะสมกับเวลาและระดับการศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.15 อยู่ในระดับ ปานกลาง

ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการทำกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

มีการออกแบบ ขนาดและโครงสร้างเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ครอบคลุมหัวข้อการสอนแบบกิจกรรมกลุ่ม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในระดับ น้อย

การจัดวางรูปแบบเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ความเหมาะสมของสีพื้น มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ความเหมาะสมของสีตัวอักษร มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

ความถูกต้องของการพิมพ์ข้อความ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

เหมาะสมกับระดับการศึกษาและกิจกรรมการสอนการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

คุณภาพของชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ระดับกลาง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ผลการประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษา

ตารางที่ ข-4 ผลการประเมินคุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษา

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลความหมาย	
			$\bar{x}$	S.D.
1. ข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	**4.00**	**0.00**	**มาก**	**น้อย**
2. ข้อคำถามมีความชัดเจน	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
3. ใช้ภาษาที่อ่านแล้วเข้าใจง่าย	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
4. ปริมาณของข้อคำถามมีความเหมาะสม	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
5. ข้อคำถามแต่ละข้อมีความเป็นเอกภาพชัดเจน	**4.33**	**1.15**	**มาก**	**ปานกลาง**
6. ข้อคำถามแต่ละข้อมีความเป็นอิสระในการในการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา	**4.33**	**0.58**	**มาก**	**น้อย**
7. การจัดเรียงลำดับการนำเสนอในแต่ละข้อคำถามเหมาะสม	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**
8. ภาพรวม คุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง	**4.00**	**1.00**	**มาก**	**น้อย**

ข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 00.00 อยู่ในระดับ น้อย

ข้อคำถามมีความชัดเจน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ใช้ภาษาที่อ่านแล้วเข้าใจง่าย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ปริมาณของข้อคำถามมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ข้อคำถามแต่ละข้อมีความเป็นเอกภาพชัดเจน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.15 อยู่ในระดับ ปานกลาง

ข้อคำถามแต่ละข้อมีความเป็นอิสระในการในการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.33 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.58 อยู่ในระดับ น้อย

การจัดเรียงลำดับการนำเสนอในแต่ละข้อคำถามเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ภาพรวม คุณภาพของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.00 อยู่ในระดับ มาก และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 1.00 อยู่ในระดับ น้อย

ผลประเมินความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์

ตารางที่ ข-5 ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (Index of Item-Objective Congruence: IOC)

ข้อคำถาม		IOC	การแปลความหมาย
แบบทดสอบก่อนเรียน	**แบบทดสอบหลังเรียน**		
วัตถุประสงค์ที่ 1.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบ Direct Start ได้อย่างถูกต้อง			
1. วงจรการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบ Direct Start หมายถึงอะไร ?	1. กระแสที่เกิดขึ้นขณะเริ่มเดินมอเตอร์ในวงจร Direct Start เป็นอย่างไร ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
2. อุปกรณ์ใดที่ใช้ควบคุมการทำงานของวงจร Direct Start ?	2. เหตุใดจึงควรใช้โอเวอร์โหลดรีเลย์ในวงจร Direct Start ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
3. ข้อใดเป็นข้อดีของการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบ Direct Start ?	3. วงจร Direct Start เหมาะสมกับมอเตอร์ประเภทใด ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
วัตถุประสงค์ที่ 1.2 อธิบายคุณสมบัติการสตาร์ทแบบ Direct Start ได้อย่างถูกต้อง			
1. ข้อใดกล่าวถึงการสตาร์ทมอเตอร์แบบDirect Start ได้ถูกต้อง ?	1. การสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct Start เหมาะกับสถานการณ์ใดมากที่สุด ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
2. ข้อใดคือข้อดีของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct Start	2. ข้อใดกล่าวถึงคุณสมบัติของการสตาร์ทแบบ Direct Start ได้ถูกต้อง	**0.67**	**สอดคล้อง**
3. การสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct Start มีข้อเสียหลักคืออะไร	3. การสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct Start มีข้อจำกัดสำคัญในด้านใด	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

ข้อคำถาม		IOC	การแปลความหมาย
แบบทดสอบก่อนเรียน	**แบบทดสอบหลังเรียน**		
วัตถุประสงค์ที่ 2.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch ได้อย่างถูกต้อง			
1. วัตถุประสงค์หลักของวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสคืออะไร ?	1. การกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch อาศัหลักการใด ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. Selector Switch ในวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสทำหน้าที่อะไร ?	2. ข้อใดเป็นข้อควรระวังเมื่อใช้วงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
3. ถ้าต้องการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส ควรทำอย่างไร ?	3. หากต้องการกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสให้ปลอดภัย ควรปฏิบัติอย่างไร ?	**0.33**	**ไม่สอดคลอง**
วัตถุประสงค์ที่ 2.2 บอกคุณสมบัติการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ Selector Switch ได้อย่างถูกต้อง			
1. ข้อใดกล่าวถึงหลักการทำงานของการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสได้ถูกต้องที่สุด ?	1. วิธีการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ Selector Switch คืออะไร ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. Selector Switch ในระบบกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสมีหน้าที่อะไร ?	2. Selector Switch แบบ 3 ตำแหน่งที่ใช้ในการกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสมีตำแหน่งอะไรบ้าง ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
3. เมื่อกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ Selector Switch จะเกิดผลลัพธ์อย่างไร ?	3. ถ้า Selector Switch ที่ใช้กลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสเกิดชำรุดจะมีผลกระทบอย่างไร ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

ข้อคำถาม		IOC	การแปลความหมาย
แบบทดสอบก่อนเรียน	**แบบทดสอบหลังเรียน**		
วัตถุประสงค์ที่ 3.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing) ได้อย่างถูกต้อง			
1. Jogging Reversing คืออะไร ?	1. ข้อใดอธิบายหลักการทำงานของวงจร Jogging Reversing ได้ถูกต้อง ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. อุปกรณ์หลักที่ใช้ในวงจร Jogging Reversing ได้แก่ข้อใด ?	2. เมื่อกดปุ่ม Jog Forward มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางใด ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
3. ข้อใดเป็นลักษณะสำคัญของวงจร Jogging Reversing ?	3. การกลับทางหมุนของมอเตอร์ในวงจร Jogging Reversing ทำได้อย่างไร ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**
วัตถุประสงค์ที่ 3.2 อธิบายคุณสมบัติการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing) ได้อย่างถูกต้อง			
1. การกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ (Jogging Reversing) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่ออะไร ?	1. ข้อใดเป็นลักษณะสำคัญของการกลับ ทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะ ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
2. วิธีการควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะทำได้อย่างไร ?	2. อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบชั่วขณะคืออะไร ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
3. อะไรเป็นผลกระทบหลักจากการใช้งาน Jogging Reversing บ่อยครั้ง ?	3. หากมีการใช้ Jogging Reversing บ่อยครั้ง อาจเกิดผลกระทบอะไรกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ?	**-0.33**	**ไม่สอดคลอง**

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

ข้อคำถาม		IOC	การแปลความหมาย
แบบทดสอบก่อนเรียน	**แบบทดสอบหลังเรียน**		
วัตถุประสงค์ที่ 4.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing) ได้อย่างถูกต้อง			
1. การควบคุมการกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing) มีจุดประสงค์ หลักเพื่ออะไร ?	1. ในวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด คอนแทคเตอร์ที่ควบคุมการกลับทางหมุนทำงานอย่างไร ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. ในการกลับทางหมุนแบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing) จำเป็นต้องทำอะไรกับสายไฟของมอเตอร์ ?	2. ข้อใดเป็นข้อเสียของการกลับทางหมุนแบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing) ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
3. การกลับทางหมุนแบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing) ส่งผลกระทบอย่างไรต่อมอเตอร์ ?	3. วิธีการใดช่วยลดผลกระทบจากการกลับทางหมุนแบบทันทีทันใด ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**
วัตถุประสงค์ที่ 4.2 อธิบายคุณสมบัติการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing) ได้อย่างถูกต้อง			
1. การกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใด (Plug-in Reversing) หมายถึงอะไร ?	1. การกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส แบบทันทีทันใดมีผลกระทบอย่างไร ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. ข้อใดเป็นข้อเสียของการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสแบบทันทีทันใด ?	2. วิธีการควบคุมที่นิยมใช้ในการกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสแบบทันทีทันใดคืออะไร ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
3. วิธีการใดที่ใช้ในการควบคุมการกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสแบบทันทีทันใด ?	3. ข้อใดเป็นข้อพิจารณาในการเลือกใช้การกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสแบบทันทีทันใด ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

ข้อคำถาม		IOC	การแปลความหมาย
แบบทดสอบก่อนเรียน	**แบบทดสอบหลังเรียน**		
วัตถุประสงค์ที่ 5.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing) ได้อย่างถูกต้อง			
1. วงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing) มีหลักการทำงานอย่างไร?	1. การควบคุมวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing) มีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด คืออะไร ?	2. อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด ประกอบด้วยอะไรบ้าง ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
3. ข้อใดเป็นข้อดีของวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด ?	3. ข้อใดเป็นลักษณะสำคัญของวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**
วัตถุประสงค์ที่ 5.2 อธิบายคุณสมบัติการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing) ได้อย่างถูกต้อง			
1. การกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด (After Stop Reversing) หมายถึงอะไร ?	1. ข้อใดเป็นลักษณะสำคัญของการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส แบบหลังหยุด ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. ข้อใดเป็นเหตุผลที่ต้องใช้วิธีการกลับทางหมุนแบบหลังหยุด ?	2. การกลับทางหมุนแบบหลังหยุดช่วยลดปัญหาใดมากที่สุด ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
3. อุปกรณ์ใดที่ใช้ในการควบคุมการกลับทางหมุนแบบหลังหยุด ?	3. ข้อใดเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ร่วมกับระบบกลับทางหมุนแบบหลังหยุด ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

ข้อคำถาม		IOC	การแปลความหมาย
แบบทดสอบก่อนเรียน	**แบบทดสอบหลังเรียน**		
วัตถุประสงค์ที่ 6.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star-Delta) ได้อย่างถูกต้อง			
1. วงจรการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่ออะไร ?	1. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการทำงานของวงจรสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. ในการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า มอเตอร์จะเชื่อมต่อแบบสตาร์ในช่วงใด ?	2. ข้อดีของการใช้การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ คืออะไร ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
3. ส่วนประกอบหลักของวงจรสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ มีอะไรบ้าง ?	3. ไทม์เมอร์ในวงจรสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ มีหน้าที่อะไร ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**
วัตถุประสงค์ที่ 6.2 อธิบายคุณสมบัติการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ (Automatic Star-Delta) ได้อย่างถูกต้อง			
1. 1. การสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า มีวัตถุประสงค์หลักเพื่ออะไร ?	ข้อใดเป็นข้อดีของการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
2. ในระบบสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ มอเตอร์จะเริ่มต้นการทำงานในโหมดใดก่อน ?	2. ระยะเวลาที่มอเตอร์อยู่ในโหมดสตาร์ก่อนเปลี่ยนเป็นเดลต้าขึ้นอยู่กับปัจจัยใด ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
3. อุปกรณ์ใดเป็นส่วนประกอบสำคัญในวงจรสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ ?	3. วงจรสตาร์-เดลต้า อัตโนมัติ ใช้อุปกรณ์หลักใดเพื่อสลับจากโหมดสตาร์เป็นเดลต้า ?	**0.33**	**ไม่สอดคลอง**

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

ข้อคำถาม		IOC	การแปลความหมาย
แบบทดสอบก่อนเรียน	**แบบทดสอบหลังเรียน**		
วัตถุประสงค์ที่ 7.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงาน อัตโนมัติ (Automatic Sequence) ได้อย่างถูกต้อง			
1. วงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติ (Automatic Sequence) คืออะไร ?	1. ในวงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติ อุปกรณ์ใดที่ช่วยให้มอเตอร์ทำงานตามลำดับ ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับอัตโนมัติได้แก่ข้อใด ?	2. การตั้งค่าระยะเวลาหน่วงของรีเลย์เวลา (Timer Relay) มีผลอย่างไรกับการทำงานของมอเตอร์ ?	**1.00**	**สอดคล้อง**
3. หน้าที่ของรีเลย์เวลา (Timer Relay) ในวงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับอัตโนมัติ คืออะไร ?	3. ข้อใดเป็นตัวอย่างของการทำงานของวงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติ ?	**-0.33**	**ไม่สอดคลอง**
วัตถุประสงค์ที่ 7.2 อธิบายคุณสมบัติการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติ (Automatic Sequence) ได้อย่างถูกต้อง			
1. มอเตอร์ 3 เฟส ควบคุมแบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติ (Automatic Sequence) ใช้เพื่ออะไรเป็นหลัก ?	1. หน้าที่หลักของระบบควบคุมมอเตอร์แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติคืออะไร ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
2. อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติคืออะไร ?	2. อุปกรณ์ที่มักใช้ร่วมกับระบบควบคุมมอเตอร์แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติคืออะไร ?	**0.67**	**สอดคล้อง**
3. ระบบควบคุมมอเตอร์แบบเรียงลำดับการทำงานอัตโนมัติช่วยให้เกิดประโยชน์อย่างไร ?	3. ระบบควบคุมมอเตอร์แบบเรียงลำดับ การทำงานอัตโนมัติมีข้อดีอย่างไร ?	**0.00**	**ไม่สอดคลอง**

วัตถุประสงค์ที่ 1.1
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
วัตถุประสงค์ที่ 1.2
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง
วัตถุประสงค์ที่ 2.1
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.33 แปลค่า ไม่สอดคล้อง
วัตถุประสงค์ที่ 2.2
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง
วัตถุประสงค์ที่ 3.1
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง
วัตถุประสงค์ที่ 3.2
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ -3.33 แปลค่า ไม่สอดคล้อง
วัตถุประสงค์ที่ 4.1
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง
วัตถุประสงค์ที่ 4.2
ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง

วัตถุประสงค์ที่ 5.1

ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง

วัตถุประสงค์ที่ 5.2

ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง

วัตถุประสงค์ที่ 6.1

ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง

วัตถุประสงค์ที่ 6.2

ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.33 แปลค่า ไม่สอดคล้อง

วัตถุประสงค์ที่ 7.1

ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 1.00 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ -0.33 แปลค่า ไม่สอดคล้อง

วัตถุประสงค์ที่ 7.2

ข้อคำถามที่ 1 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

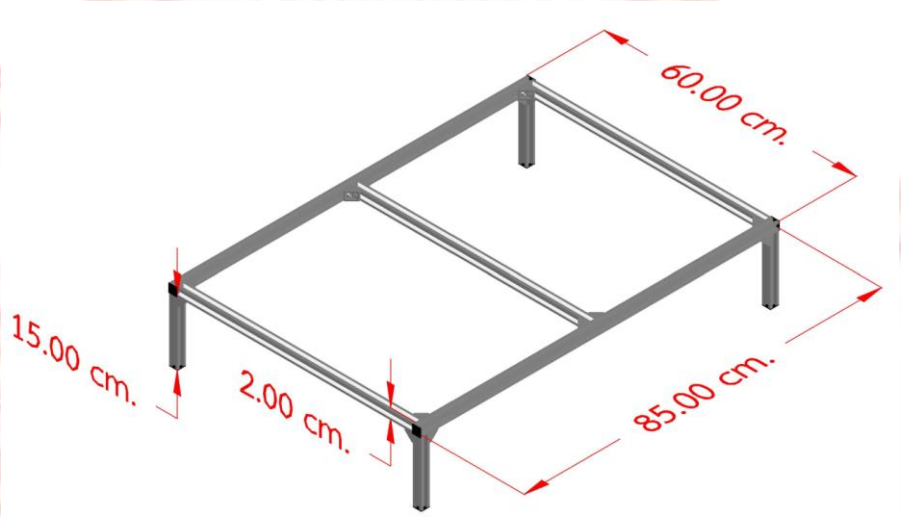
ข้อคำถามที่ 2 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.67 แปลค่า สอดคล้อง

ข้อคำถามที่ 3 มีค่าคะแนน IOC อยู่ที่ 0.00 แปลค่า ไม่สอดคล้อง

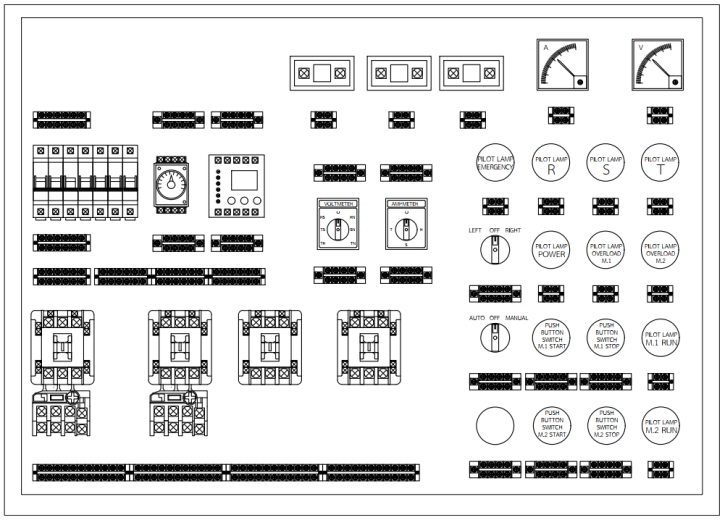
ภาคผนวก ค

การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

การออกแบบชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

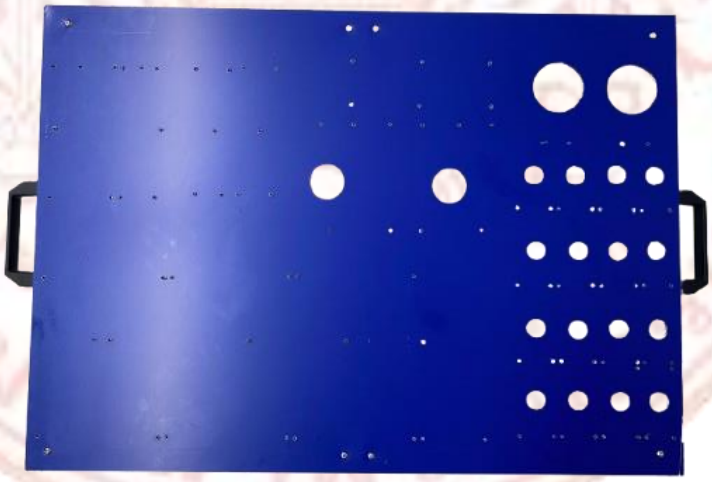


ภาพที่ ค-1 การออกแบบโครงสร้างชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

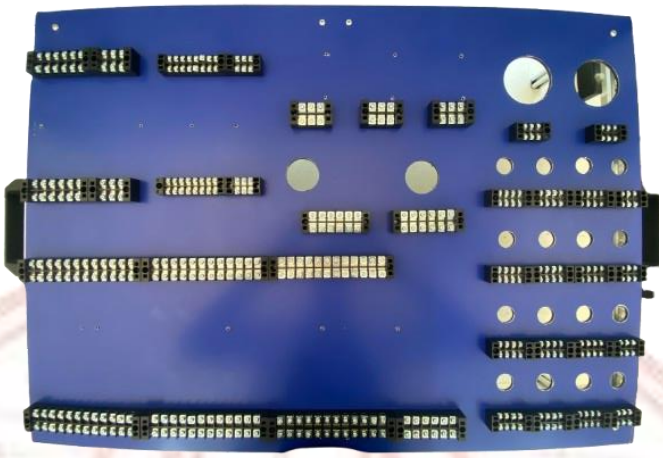


ภาพที่ ค-2 การออกแบบชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

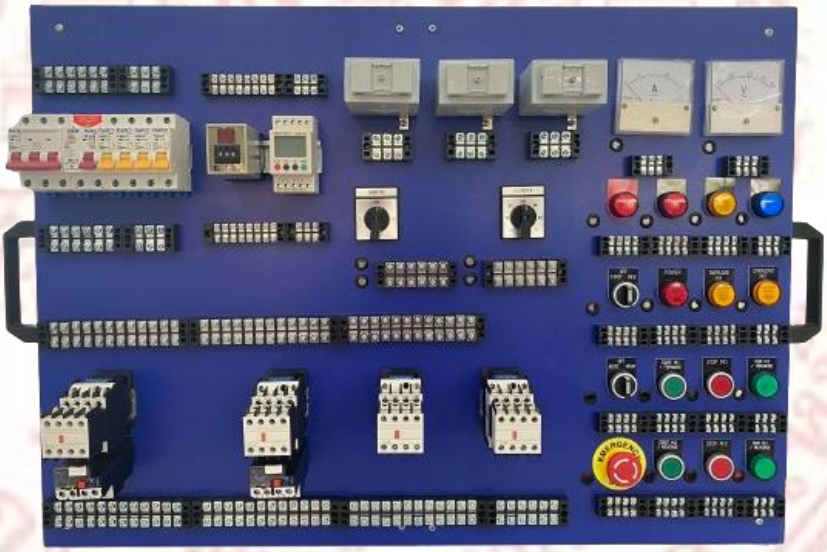
ภาพที่ ค-3 ประกอบโครงสร้าง



ภาพที่ ค-4 เตรียมฐานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์



ภาพที่ ค-5 ติดตั้งเทอร์มินอลบล็อค



ภาพที่ ค-6 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

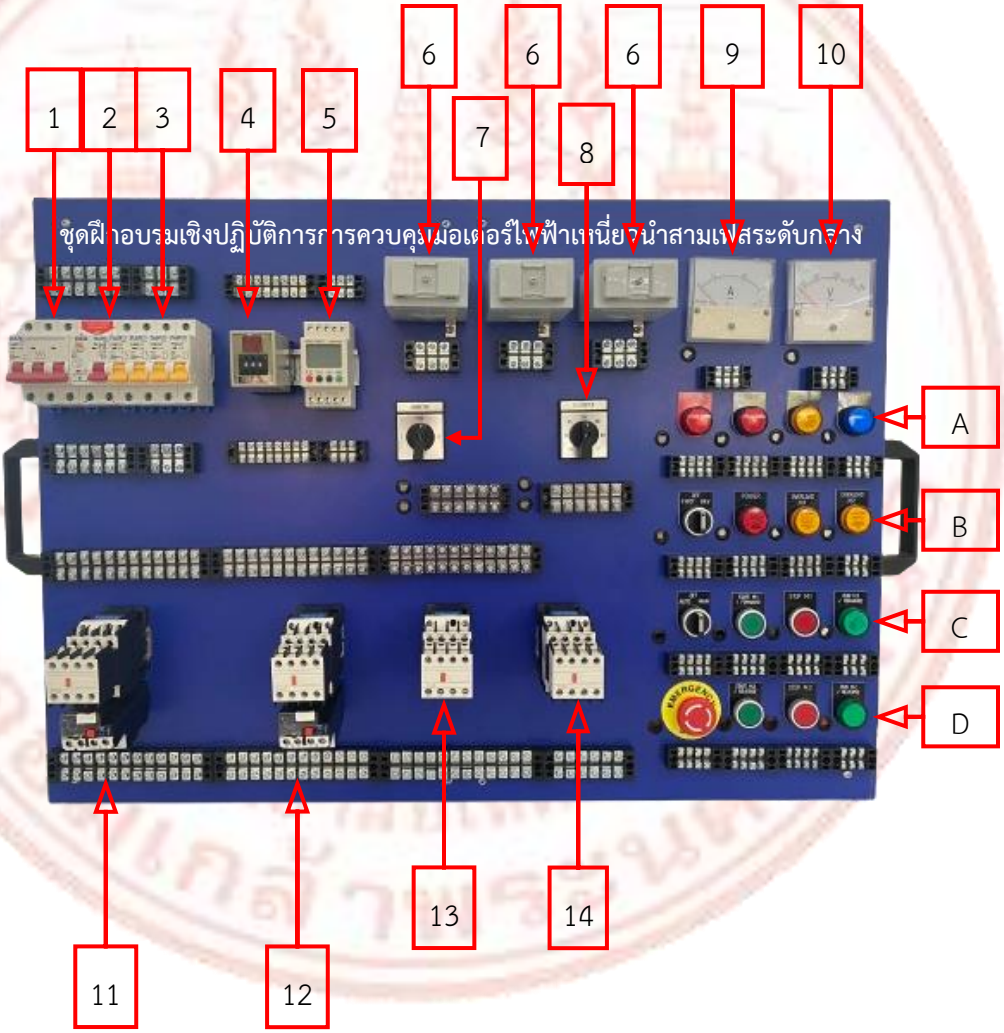
ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้งาน และตัวอย่างการใช้งาน

ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

คู่มือการใช้งาน

ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง



ภาพที่ ง-1 ตำแหน่งอุปกรณ์ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

หมายเลข 1 คือ Miniature Circuit Breaker 3 P 30 A

หมายเลข 2 คือ RCBO 32 A

หมายเลข 3 คือ Miniature Circuit Breaker 1 P 10 A

หมายเลข 4 คือ Timer Relay

หมายเลข 5 คือ Digital Phase Protector

หมายเลข 6 คือ Current Transformer 30/5A

หมายเลข 7 คือ Selector Amp Switch

หมายเลข 8 คือ Selector Volt Switch

หมายเลข 9 คือ Amp Meter 30 A

หมายเลข 10 คือ Volt Meter 500 V

หมายเลข 11 คือ Magnetic Contactor 230 VAC 10 A + Overload Relay 10 A + Auxiliary Contact Block 2 NO 2 NC

หมายเลข 12 คือ Magnetic Contactor 230 VAC 10 A + Overload Relay 10 A + Auxiliary Contact Block 2 NO 2 NC

หมายเลข 13 คือ Magnetic Contactor 230 VAC 10 A + Auxiliary Contact Block 2 NO 2 NC

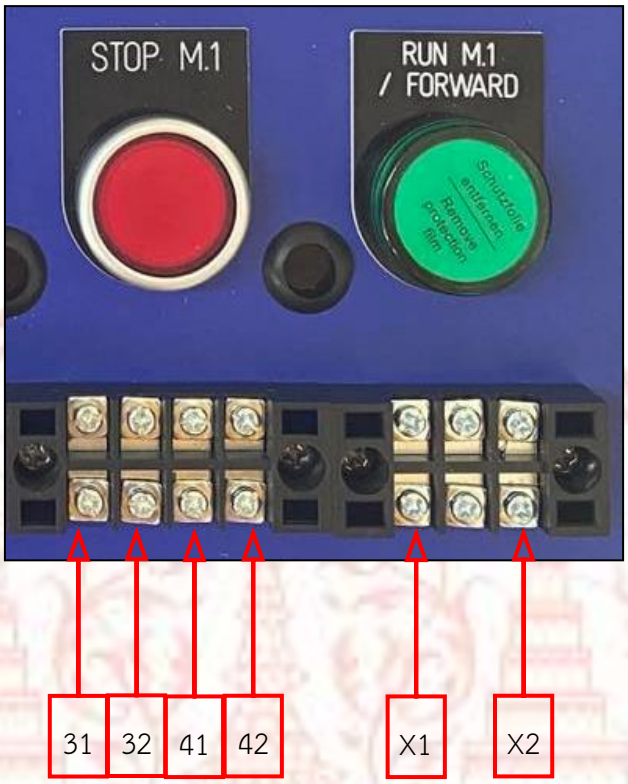
หมายเลข 14 คือ Magnetic Contactor 230 VAC 10 A + Auxiliary Contact Block 2 NO 2 NC

อักษร A คือ เรียงจากซ้ายไปขวา ดังนี้ EMERGENCY Pilot Lamp (RED), Phase R Pilot Lamp (RED), Phase S Pilot Lamp (Yellow), Phase T Pilot Lamp (Blue)

อักษร B คือ เรียงจากซ้ายไปขวา ดังนี้ Selector Switch (FWD,OFF,REV), Power Pilot Lamp (RED), Over load M1 Pilot Lamp (Yellow), Over load M2 Pilot Lamp (Yellow)

อักษร C คือ เรียงจากซ้ายไปขวา ดังนี้ Selector Switch (AUTO,OFF,MAN), START M1/FORWARD Push button Switch (GREEN), STOP M1 Push button Switch (RED), RUN M1 /FORWARD Pilot Lamp (GREEN)

อักษร D คือ เรียงจากซ้ายไปขวา ดังนี้ EMERGENCY Push button Switch (RED), START M2/REVERSE Push button Switch (GREEN), STOP M2 Push button Switch (RED), RUN M2 / REVERSE Pilot Lamp (GREEN)



ภาพที่ ง-2 ตำแหน่งจุดต่อสายไฟสวิตซ์และหลอดไฟสัญญาณ

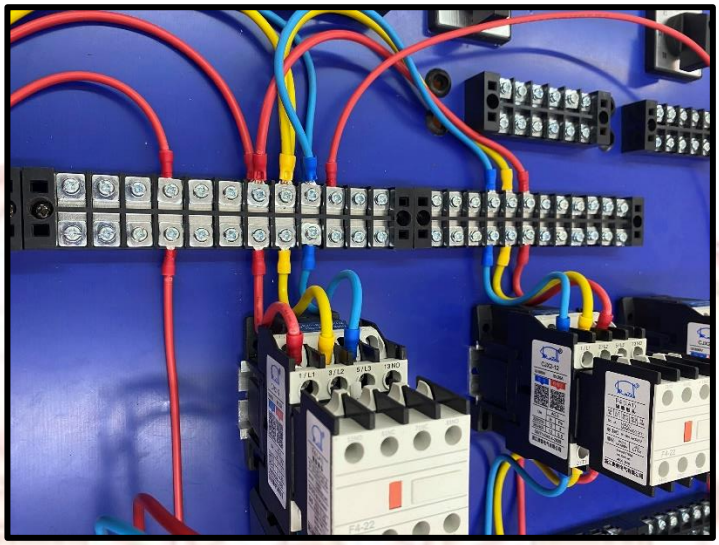
หมายเลข 31-32 คือ คู่หน้าสัมผัสปกติเปิด

หมายเลข 41-42 คือ คู่หน้าสัมผัสปกติปิด

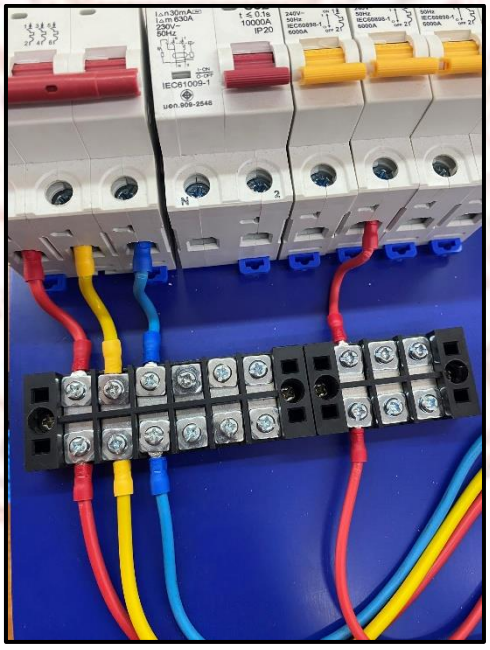
หมายเลข X1-X2 คือ คู่ไฟเลี้ยงของหลอดไฟสัญญาณ (230 V)

ตัวอย่างการใช้งาน

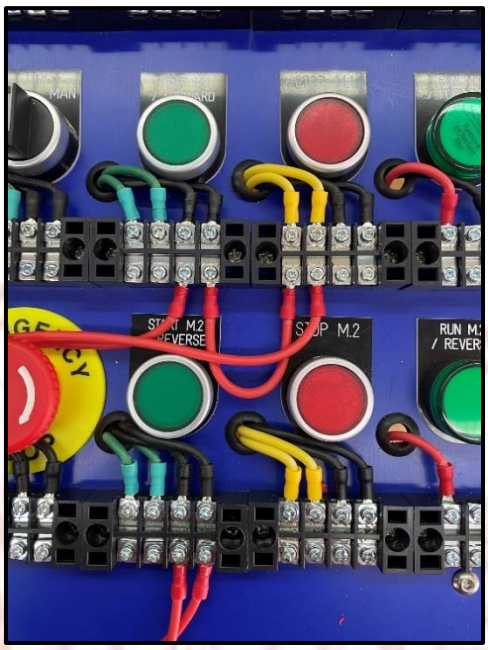
ชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง



ภาพที่ ง-3 ตัวอย่างการต่อใช้งานแมกเนติกคอนแทคเตอร์



ภาพที่ ง-4 ตัวอย่างการต่อใช้งานเซอร์กิตเบรคเกอร์



ภาพที่ ง-5 ตัวอย่างการต่อใช้งานไฟสวิตซ์และหลอดไฟสัญญาณ

ภาพที่ ง-6 การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสเข้ากับชุดฝึก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ ว่าที่ร้อยตรี นภัทร จงใจภักดิ์

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสระดับกลาง

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ ประวัติส่วนตัว

วัน/เดือน/ปีเกิด วันอังคาร ที่ 28 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2538 ปีนักษัตร กุน ราศี มีน ที่อยู่ 210/38 ถนน ราชการดำเนิน ตำบล ในเมือง อำเภอ เมือง จังหวัด ร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45000 เบอร์โทรศัพท์ 081-3205721 E-mail : napat@ccollege.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี สำเร็จการศึกษา ปี พ.ศ. 2561 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ประวัติการทำงาน

ครู ยังไม่มีวิทยฐานะ พ.ศ. 2567 –ปัจจุบัน แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี

ครูผู้ช่วย พ.ศ. 2565 – 2567 แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี

ครูพิเศษสอน พ.ศ. 2561 – 2565 แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ