รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประหยัดพลังงานโดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ Cooling Air

Energy Saving with Inverter of Cooling Air Motor

นายปฏิภาณ ปัทมาวิไล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประหยัดพลังงานโดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ Cooling Air

Energy Saving with Inverter of Cooling Air Motor

นายปฏิภาณ ปัทมาวิไล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การประหยัดพลังงานโดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ Cooling Air

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายปฏิภาณ ปัทมาวิไล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.วิวัฒน์ เกยูรวงศ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน สถาพร นาคง

บทคัดย่อ

พลังงานจัดว่าเป็นทรัพยากรอย่างหนึ่งที่ช่วยให้อุตสาหกรรมการผลิตสามารถดำเนินกระบวนการผลิตต่อไปได้ แต่ด้วยราคาพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้ผู้บริโภคต้องตระหนักถึงการใช้พลังงานมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการจัดทำโครงงานนี้ขึ้นเพื่อเสนอแนวทางในการประหยัดพลังงาน และลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานของโรงงานผลิตปูนไลม์ของบริษัทเคมีแมน จำกัด มหาชน ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) หรือที่เรียกกันว่า อินเวอร์เตอร์(Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาวะของโหลด โดยการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ลงจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้งานมีค่าลดลงจึงทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น โดยจากการคำนวณทางทฤษฎีจะได้ว่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ Cooling Air สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 8.7 กิโลวัตต์ และยังลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานของโรงงานได้อีก 244,614 บาทอีกด้วย โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 2 เดือน

คำสำคัญ : พลังงาน, อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์, อินเวอร์เตอร์, โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title : Energy Saving with Inverter of Cooling Air Motor

Student intern name : Patiphan Pattamawilai

Faculty : Engineering **Department :** Electrical Engineering

Advisor name : Dr. Wiwat Keyoonwong

Mentor name : Sathaporn Nakong

Company : Chememan Public Company Limited

ABSTRACT

Energy is one of the resources that can help the manufacturing industry to continue the production process, but at the present time, with the rising energy prices, consumers have to realize more energy consumption. Therefore, this project was set up to propose ways to save energy and reduce energy costs of the Lime Plants of Chememan Public Company Limited by installation of Variable Speed Drive (VSD), also known as Inverter, which is a device that can control the motor speed to suit the load conditions. The VSD will reduce the speed of the motor down, resulting in a decrease in the power that the motor uses. So, it can save more energy. Based on the theoretical calculations, the installation of the Inverter of Cooling Air Motor can help reduce electricity consumption by up to 8.7 kW and also reduce the cost of energy consumption of the plant by another 244,614 baht and have payback period 1 year 2 months

Keyword : Energy, Variable Speed Drive, Inverter, Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากทางบริษัท เคมีแมน จำกัด (มหาชน) ที่ได้มอบโอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาทำสหกิจศึกษา และต้องขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้จัดทำโครงการสหกิจนี้ขึ้นมา และเปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ไปทำการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วิวัฒน์ เกยูรวงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็นอาจารย์นิเทศในการทำสหกิจศึกษาครั้งนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษา และคำชี้แนะต่างๆในการทำโครงงานฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณสถาพร นาคง วิศวกรผู้นิเทศงาน ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆในการทำโครงงานฉบับนี้ และคุณสุริยันต์ สุธรรม วิศวกรพี่เลี้ยง ผู้ที่ให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน รวมทั้งคำปรึกษาต่างๆในการทำโครงงาน และขอขอบคุณพี่ๆในบริษัท เคมีแมน จำกัด (มหาชน) ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและดูแลมาตลอดช่วงเวลา 4 เดือน ที่ได้เข้ามาทำสหกิจศึกษาในบริษัทนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยนี้ ช่วยตอบปัญหา หรือข้อสงสัยบางประการที่ไม่เข้าใจ ให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสริม และสนับสนุน คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยนี้มาโดยตลอด

ปฏิภาณ ปัทมาวิไล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 1

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 3

2.2 การควบคุมการสตาร์ทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 4

2.3 การสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star-Delta Starter 5

2.4 การ Start Stop มอเตอร์ด้วย VFD 7

2.5 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) 8

2.6 พัดลมและเครื่องเป่าลม 11

2.7 ทฤษฎีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับโหลดชนิดพัดลม 12

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 15

3.1 ศึกษาการทำงานของ Cooling Air Blower 15

3.2 ตรวจสอบมอเตอร์ของ Cooling Air 16

3.3 ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ 18

3.4 การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การคำนวณคิดค่าไฟฟ้า....24
3.6 การเลือกขนาดสายไฟ....25
3.7 การเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์....26
3.8 ตัวอย่างการเดินสายไฟ....26
3.9 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้ง....33
บทที่ 4 ผลการวิจัย....35
4.1 เปรียบเทียบการใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างกัน....35
4.2 โครงการประหยัดพลังงาน(ของบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด)....36
4.3 เปรียบเทียบข้อมูลทางทฤษฎีกับการทดลอง....38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....39
5.1 สรุปผลการวิจัย....39
5.2 ข้อเสนอแนะ....39
บรรณานุกรม....40
ภาคผนวก....42
ประวัติผู้เขียน....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 กฎความสัมพันธ์ของพัดลม....13
3.1 แรงดันไฟฟ้าเฟสเทียบเฟส....18
3.2 แรงดันไฟฟ้าเฟสเทียบกราวด์....19
3.3 กระแสไฟฟ้า....20
3.4 ตารางทดสอบการทำงานของ Cooling Air เตา 2 เพื่อใช้อ้างอิง Cooling Air เตา 1....22
3.5 เปรียบเทียบค่าไฟ....25
3.6 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้ง....33
4.1 เปรียบเทียบการใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างกัน....35
4.2 ตารางแสดงอัตราการคุ้มทุน....36
4.3 คำนวณค่าพลังงานและระยะเวลาคุ้มทุนตามค่าที่วัดจริง....37
4.4 สรุปผลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า....37
4.5 เปรียบเทียบข้อมูลทางทฤษฎีกับการทดลอง....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 Induction Motor....3
2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ และกระแสกับความเร็วรอบ เมื่อโหลดคงที่....6
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ และกระแสกับความเร็วรอบ เมื่อโหลดไม่คงที่....6
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ และกระแสกับความเร็วรอบ ของมอเตอร์....7
2.5 แผนผังหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์....9
2.6 พัดลมแบบไหลตามแนวแกน....11
2.7 พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง....12
3.1 การทำงานของ Cooling Air....15
3.2 Damper ของ Cooling Air M4....16
3.3 Cooling Air Motor M4....16
3.4 Name Plate ของ Cooling Air Motor M4....17
3.5 แรงดันไฟฟ้าเฟส A-B....18
3.6 แรงดันไฟฟ้าเฟส B-C....18
3.7 แรงดันไฟฟ้าเฟส A-C....18
3.8 แรงดันไฟฟ้าเฟส A....19
3.9 แรงดันไฟฟ้าเฟส B....19
3.10 แรงดันไฟฟ้าเฟส C....19
3.11 กระแสไฟฟ้าเฟส A....20
3.12 กระแสไฟฟ้าเฟส B....20
3.13 กระแสไฟฟ้าเฟส C....20
3.14 บริเวณที่จะติดตั้งตู้อินเวอร์เตอร์....26
3.15 การเดินสายไฟจากตู้ไฟเก่าไปตู้ใหม่....27
3.16 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 1 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.17 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 2.....28
3.18 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 3.....29
3.19 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 4.....29
3.20 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 5.....30
3.21 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 6.....30
3.22 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 7.....31
3.23 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 8.....31
3.24 อินเวอร์เตอร์ที่จะติดตั้ง.....34
3.25 ตู้ไฟฟ้าที่จะติดตั้ง.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในกระบวนการผลิตปูนของโรงงานในบริษัทเคมีแมน จำกัด (มหาชน) นั้น Cooling Air ถือว่าเป็นเครื่องจักรที่มีความสำคัญมากในการช่วยเป่าลมเย็นไปหล่อเลี้ยงโครงสร้างภายในไส้เตาไม่ให้มีอุณหภูมิที่สูงเกินไป แล้วยังนำลมเย็นที่เลี้ยงไส้เตาบางส่วนกลับเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้อีกครั้ง โดยการผลิตปูนของโรงงานนั้นมีการเดินเครื่องจักรตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ Cooling Air ต้องมีการทำงานอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตสามารถควบคุมปริมาณลมที่ใช้ระบายความร้อนจาก Cooling Air ได้โดยใช้อุปกรณ์ Damper ซึ่งเป็นเสมือนประตูเปิด-ปิดควบคุมปริมาณการออกของลมได้ แต่ถึงแม้จะควบคุมปริมาณลมได้ มอเตอร์ Cooling Air ก็ยังคงทำงานอย่างเต็มพิกัด ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์อยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเกินความจำเป็นต่อความต้องการทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายที่สูง โดยปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์หรืออินเวอร์เตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อลดการใช้พลังงานภายในโรงงาน (ในสายการผลิตปูนไลม์)

1.2.2 เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2.3 เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

1.3.2 ประเมินผลการประหยัดพลังงานก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จากทฤษฎี

1.3.3 จัดทำเรื่องเสนอของบประมาณทาง บริษัทเคมีแมน จำกัด มหาชน สำหรับการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ใช้งานจริง

1.3.4 ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า หลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานของมอเตอร์ Cooling Air (M4) เตา 1

1.4.2 วิเคราะห์ และคำนวณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

1.4.3 ทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

1.4.4 ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

1.4.5 สรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงานของโรงงาน

1.5.2 ความรู้ความเข้าใจในการรวบรวม และวิเคราะห์การใช้พลังงาน

1.5.3 ประสบการณ์ในการออกงานภาคสนาม

1.5.4 ความเข้าใจในการใช้งานเครื่องมือช่างพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้าสลับ 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกมีข้อดีคือ ไม่มีแปรงถ่านทำให้การสูญเสียเนื่องจากความฝืดมีค่าน้อย มีตัวประกอบกำลังสูง การบำรุงรักษาต่ำ การเริ่มเดินทำได้ไม่ยาก ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ สร้างง่าย ทนทาน ราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง

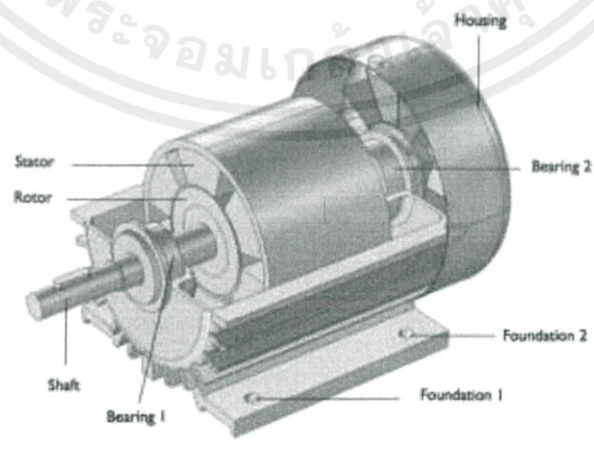
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่ที่โรเตอร์โดยตรงแต่ได้จากการเหนี่ยวนำ (Induction) จึงนิยมเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) [1]

การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟสทั้งหมดที่จ่ายให้กับมอเตอร์ สามารถพิจารณาได้จากสมการ

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times cos\theta \qquad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า $cos\theta$ คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 Induction Motor [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การควบคุมการสตาร์ทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

ในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับ 3 เฟสที่ใช้ความเร็วรอบคงที่ มอเตอร์ในขณะสตาร์ทจากจุดหยุดนิ่งจะต้องใช้กระแสจำนวนมากเพื่อเอาชนะแรงเฉื่อยขณะหยุดนิ่งและเมื่อมอเตอร์ทำงานจะเกิดแรงบิดหรือแรงฉุดกระชากที่สูงมาก เราจึงต้องหาวิธีลดกระแสลงรวมทั้งลดแรงบิดลงซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดความเสียหายของแบริ่งหรืออุปกรณ์เครื่องจักรที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ ซึ่งการควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ก็สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1) แบบ Mechanical Starters ซึ่งจะแบ่งออกเป็นแบบ Direct online และแบบ Star Delta

มีข้อดีในเรื่องของความไม่ซับซ้อนในการติดตั้งและการใช้งาน ไม่เกิดความร้อนสูญเสียมากภายในตัวในขณะที่ทำงาน เนื่องจากส่วนที่นำกระแสนั้นเป็นหน้าคอนแทค ที่มีความต้านทานต่ำ แต่มีข้อเสียเรื่องของอายุการใช้งานของหน้าคอนแทคจะสั้นกว่าแบบอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีการอาร์ก หรือเกิดประกายไฟในขณะที่คอนแทคเตอร์ทำงาน ไม่สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานให้เหมาะสมกับ งานทุกประเภท มีความยุ่งยากถ้าต้องปรับปรุงวงจร

2) แบบ Electronic Starters ซึ่งจะแบ่งออกเป็นแบบ Soft Starter และแบบ VFD

มีข้อดีหลายอย่าง เช่นสามารถลดกระแสกระชากในขณะที่สตาร์ทมอเตอร์ได้เป็นอย่างดี สามารถใช้กับงานที่ต้องมีการหยุดมอเตอร์แบบ Softstop เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมา และช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ข้อเสียของการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมมอเตอร์ ก็คือเรื่องของการระบายอากาศ ที่เกิดจากความร้อนสะสมภายในอุปกรณ์ ซึ่งต้องทำให้ดี ไม่อย่างนั้นจะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้รับความเสียหายได้โดยง่าย [2]

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า (Star-Delta Starter) และการ Start Stop ด้วย VFD เนื่องจากโครงงานนี้มอเตอร์ที่จะทำการศึกษามีการทำงานในปัจจุบันเป็นแบบสตาร์-เดลต้า และจะมีการเปลี่ยนเป็นแบบ Start Stop ด้วย VFD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

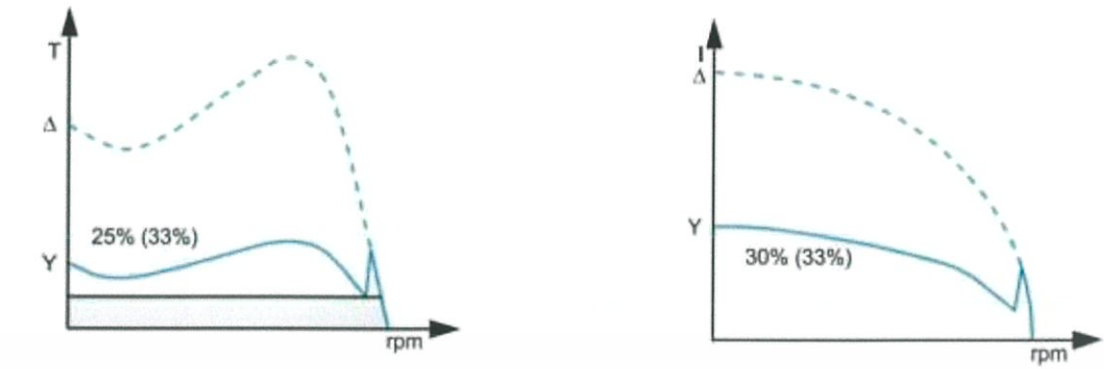
2.3 การสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star-Delta

ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมาก มอเตอร์ที่นิยมใช้งานจะเป็นมอเตอร์แบบ 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่กินกระแสไฟตอนเริ่มสตาร์ทสูง อาจทำให้เกิดแรงดันไฟตก ไฟกระพริบ จึงต้องหาวิธีสตาร์ทที่ช่วยลดปัญหาเหล่านี้ลงให้ได้ เพื่อป้องกันอุปกรณ์หรือมอเตอร์เสียหาย จึงมีการคิดวิธีการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star-Delta ขึ้นมา วิธีสตาร์ทแบบ star-delta พัฒนามาจากการสตาร์ทแบบ DOL ที่จะกินกระแสไฟตอนสตาร์ทสูง ทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟตกบ่อย วิธีสตาร์ทแบบ star-delta นั้นเป็นวิธีที่นิยมใช้สตาร์ทมอเตอร์บ่อย เหมาะกับมอเตอร์ขนาดใหญ่ ที่มีพิกัดมากกว่า 7.5 kW สามารถช่วยลดกระแสไฟและกระแสไฟกระชาก (Inrush current) ตอนเริ่มสตาร์ทได้ดี อีกทั้งยังไม่มีปัญหาเกี่ยวกับฮาร์โมนิกอีกด้วย นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการสตาร์ทก็สามารถหาซื้อได้ง่ายอีกด้วย

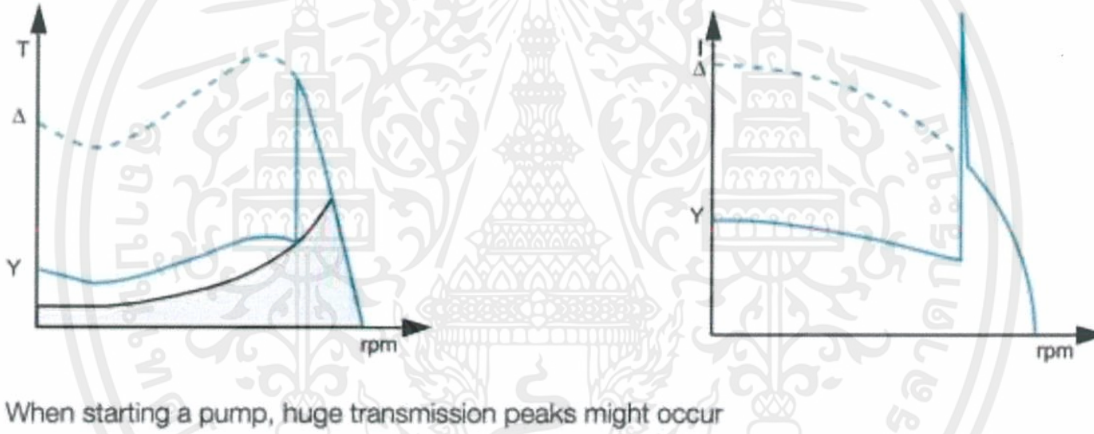
การสตาร์ทแบบสตาร์เดลต้า เป็นการสตาร์ทเพื่อลดกระแสขณะสตาร์ท โดยใช้หลักการนำอุปกรณ์ภายนอกมาเปลี่ยนวงจรขดลวดเพื่อให้มีแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดต่อเฟสลดลงจากเดิม ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องให้กระแสลดลงเป็นสัดส่วนกับแรงดัน แต่แรงบิดจะลดลงเป็นสัดส่วนกำลังสอง ขณะสตาร์ทมอเตอร์เป็นแบบสตาร์และเมื่อมอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็ว 75% ของความเร็วพิกัด มอเตอร์จะต้องหมุนแบบเดลต้า

การสตาร์ทแบบสตาร์เดลต้านั้นถูกพัฒนามาจากการสตาร์ทโดยตรง (DOL) เพื่อลดกระแสและกระแสกระชากขณะเริ่มสตาร์ท แต่การสตาร์ทแบบนี้จะยังเกิดกระแสกระชากอยู่ในช่วงของการเปลี่ยนจากวงจรสตาร์เป็นเดลต้า ดังรูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ทอร์กกับความเร็วรอบมอเตอร์และกระแสกับความเร็วรอบมอเตอร์ ซึ่งสองกราฟนี้เป็นการแสดงถึงการสตาร์ทมอเตอร์ที่โหลดคงที่ที่สามารถลดทอร์กและกระแสช่วงสตาร์ทได้และไม่มีการเกิดกระแสกระชากอีกด้วย โดยการสตาร์ทเริ่มด้วยวงจรสตาร์ทที่ได้ทอร์ก 25% ,ที่แรงดัน 33% และที่กระแส 30% จนกระทั่งได้ความเร็วอยู่ 80-85% ของพิกัดความเร็วมอเตอร์หรือจนความเร็วนิ่ง จากนั้นจะทำการเปลี่ยนจากวงจรสตาร์เป็นเดลต้าโดยไม่มีการเกิดกระแสกระชากสำหรับโหลดชนิดนี้ แต่ในกรณีที่เป็นโหลดชนิด exponential เช่น ปั๊ม พัดลม เป็นต้น ในช่วงเริ่มสตาร์ทจะยังไม่เกิดปัญหาอะไร แต่ขณะทำการเปลี่ยนจากวงจรสตาร์เป็นเดลต้าจะเกิดกระแสกระชาก (inrush current) และกระแสกระชากอาจจะสูงกว่าการสตาร์ทโดยตรง (Direct online) อีกด้วย [3] ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ และกระแสกับความเร็วรอบ เมื่อโหลดคงที่ [3]



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ และกระแสกับความเร็วรอบ เมื่อโหลดไม่คงที่ [3]

ข้อดี ของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta

- ลดกระแส Inrush Current ที่เกิดขึ้นช่วง Start Motor
- ไม่ก่อให้เกิด Harmonics ในระบบ
- ซ่อมบำรุงรักษาง่าย

ข้อเสีย ของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta

- ถ้าต่อมอเตอร์ใช้งานในระบบของไหล เช่น ปั๊มน้ำ ปั๊มไฮดรอลิค แล้วมีการหยุดมอเตอร์ทันที จะทำให้เกิน Water Hammer, Water Surge ซึ่งมีผลทำให้ท่อระเบิด หรือใบพัดหัก

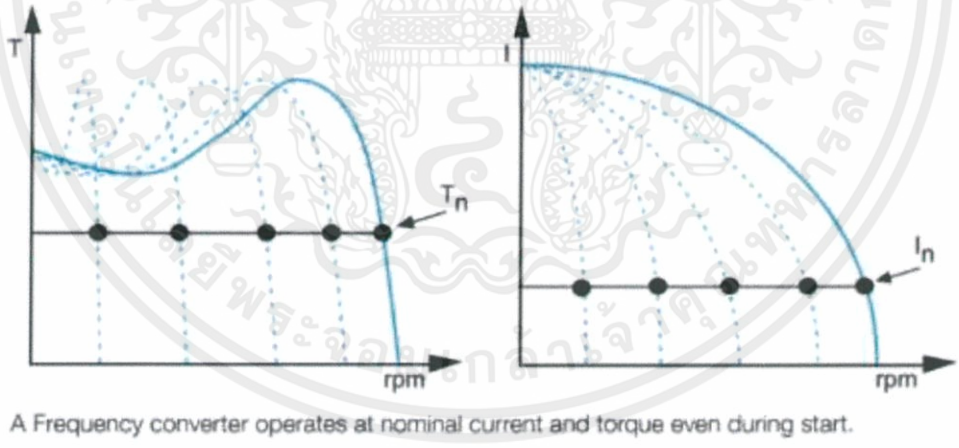
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ราคาสูงกว่าแบบ DOL เพราะใช้อุปกรณ์ มากกว่า
- วงจรซับซ้อน ถ้าต่อผิดอาจทำให้ไฟช๊อตได้ [3]

2.4 การ Start Stop มอเตอร์ด้วย VFD

VFD ย่อมาจาก Variable Frequency Drives หรือไม่ก็อาจจะเรียกกันว่า VSD (Variable Speed Drives) หรือไม่ก็ อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมแรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์ และสามารถที่จะใช้สำหรับการ Start และ Stop มอเตอร์ได้อีกด้วย

ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบมอเตอร์และแรงบิดของมอเตอร์ตามรูปที่ 2.4 จะแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบ พิกัดความเร็ว พิกัดของทอร์กที่สามารถออกตัวขณะสตาร์ทมอเตอร์ และพิกัดของกระแสของมอเตอร์ ซึ่งตัว VFD สามารถควบคุมการจ่ายกระแสที่ใช้สำหรับการ Start Motor กระแสพิกัดใช้งานของมอเตอร์ เพื่อลดการเกิดกระแสกระชากในขณะสตาร์ทมอเตอร์ได้ และควบคุมความเร็วรอบโดยการปรับค่าความถี่ไฟฟ้า โดยสามารถรักษาค่าแรงบิดของมอเตอร์ให้คงที่ได้ ในการควบคุมมอเตอร์โดยใช้ VFD โดยปกติแล้ว VFD จะทริปก็ต่อเมื่อกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์มีค่ามากกว่ากระแสใช้งานปกติคูณ 1.5 เท่า



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ และกระแสกับความเร็วรอบของมอเตอร์ [4]

สำหรับการใช้ VFD ในการควบคุมมอเตอร์นั้นเราสามารถทำการหยุดมอเตอร์แบบค่อยๆ หยุด หรือ Soft stop ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการทำ Soft stop จะมีประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อใช้ในการหยุดปั๊มเพื่อลดปัญหาการเกิด water hammer ทั้งนี้ยังเหมาะกับงานที่เป็นสายพานลำเลียง (conveyor belts) อีกด้วย [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD)

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) หรือที่เรียกกันว่า อินเวอร์เตอร์(Inverter) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาวะของโหลด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ระบบปั๊มน้ำ พัดลม และระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ เป็นต้น อุปกรณ์ VSD ใช้เทคโนโลยีแบบ Voltage Vector Control (VVC) ทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพไม่เกิดภาวะการสูญเสียพลังงานความร้อนในตัวมอเตอร์(Derating) และมีอุปกรณ์กำจัดสัญญาณรบกวน (Harmonics Filters) ที่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องป้องกันสัญญาณรบกวนและยังส่งผลดีในการประหยัดพลังงานอีกด้วย [10]

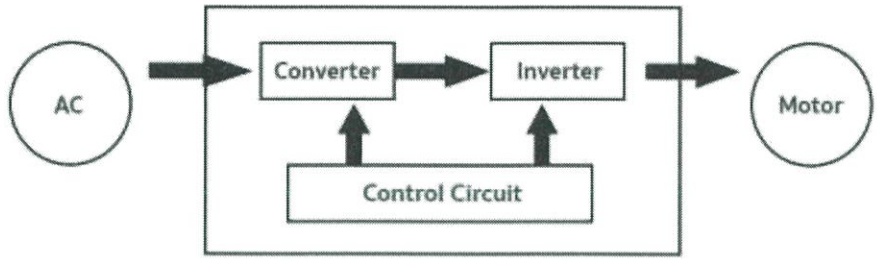
โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ จะมีส่วนประกอบหลักๆอยู่ 3 ส่วน ได้แก่

- ชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้
- ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์และชุดอินเวอร์เตอร์

2.5.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

เมื่อมีไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ไหลเข้าวงจรจะผ่านเข้าไปยังวงจรคอนเวอร์เตอร์ก่อนเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เมื่อแรงดันถูกกรองสัญญาณให้เรียบแล้วจะส่งผ่านไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรคอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์นั้นทั้ง 2 เป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจะมีเอาท์พุตเป็นรูปคลื่นไซน์แต่เอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์ นอกจากนี้มีวงจรควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการให้จ่ายแรงดันและความถี่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความเร็วหรือแรงบิดตามที่ต้องการ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนผังหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ [5]

2.5.2 ประเภทของอินเวอร์เตอร์

ประเภทของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กันมีหลากหลายประเภท ที่นิยมแบ่งกันจะพิจารณาตามลักษณะต่อไปนี้

1) พิจารณาตามลักษณะของคลื่น

- แบบสแควร์เวฟ (Modifile sinewave) มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์แต่มีลักษณะเป็นขั้นบันได ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเกือบทุกประเภท มีราคาถูก
- แบบไซน์เวฟ (Pure sinewave) มีสัญญาณเป็นรูปไซน์เวฟ 100% ผลิตไฟฟ้าออกมาได้เหมือนไฟบ้าน เหมาะกับการใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกประเภทที่ใช้กับไฟบ้าน มีราคาค่อนข้างสูง

2) พิจารณาตามจำนวนเฟส

- Single-phase half-bridge inverter ใช้กับงานที่ใช้แรงดันต่ำ
- Single-phase full-bridge inverter ใช้กับงานทั่วไปตามบ้านเรือน ตามอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ
- Three-phase voltage source inverter ส่วนใหญ่ตามโรงงานหรืออุตสาหกรรมจะนิยมใช้ เพราะเครื่องจักรที่ใช้ตามอุตสาหกรรมต้องการแรงดันไฟฟ้าที่สูง อินเวอร์เตอร์ประเภทนี้จึงเหมาะกับการใช้งานมากที่สุด [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 วิธีการเลือกอินเวอร์เตอร์ พิจารณาจาก

1) ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ : ถือเป็นรายละเอียดที่สำคัญมากเราควรดูว่าอินเวอร์เตอร์ที่เราเลือกนั้นใช้กับระบบไฟฟ้าแบบใด แบบ 1 เฟส หรือ แบบ 3 เฟส และมีช่วงแรงดันและกระแสในการใช้งานอยู่ที่เท่าไร
2) กำลังของมอเตอร์ : ใช้กับกำลังมอเตอร์ขนาดเท่าไร
3) ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมอเตอร์ : ความถี่ของมอเตอร์ที่สามารถใช้ได้
4) แรงบิด (Torque) ของโหลด : ควรพิจารณาจากการใช้งานว่าเราต้องการแรงบิดที่จะป้อนให้กับโหลดเท่าใด
5) สภาพแวดล้อมในการติดตั้ง : บริเวณที่ทำการติดตั้งนั้นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณเท่าไร มีความชื้นแค่ไหน และหากบริเวณที่เราติดตั้งนั้นต้องเผชิญกับฝุ่นและน้ำเราก็ควรเลือกอินเวอร์เตอร์ที่ได้รับมาตรฐานการป้องกันฝุ่นและน้ำ
6) ขนาด: ขนาดของอินเวอร์เตอร์เราควรพิจารณาจากพื้นที่ที่เราทำการติดตั้ง
7) Cooling method: เวลาใช้งานตัวอินเวอร์เตอร์จะเกิดความร้อนขึ้นเพื่อไม่ให้อินเวอร์เตอร์ร้อนเกินไปในขณะใช้งาน ทางที่ดีเพื่อป้องกันความเสียหายควรเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีระบบการระบายความร้อน [7]

2.5.4 ข้อดีของการใช้งานอินเวอร์เตอร์

1) สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้จากเดิมซึ่งคงที่ ทั้งมอเตอร์ ปั๊มน้ำ และพัดลม ทำให้ได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมตามความต้องการทำงานในแต่ละลักษณะ และยังทำการควบคุมแบบ Closed Loop Control เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพคงที่อยู่ตลอดเวลา
2) เพิ่มคุณภาพของชิ้นงานให้ถูกต้องตามความต้องการ และลดต้นทุนในการผลิต
3) ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องจักร และป้องกันการสูญเสียของมอเตอร์ พัดลม และปั๊มน้ำ
4) ลดการกระชากไฟฟ้าขณะเริ่มเดินมอเตอร์ ทำให้ลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าโดยเฉพาะมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่
5) ช่วยประหยัดพลังงาน โดยใช้พลังงานตามความจำเป็นของโหลด [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

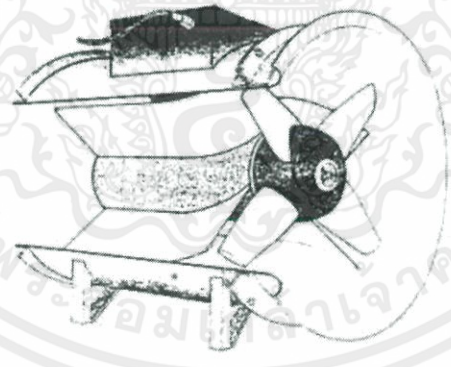
2.6 พัดลมและเครื่องเป่าลม

พัดลมหรือเครื่องเป่าลม คือ อุปกรณ์ที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยความเร็วและทิศทางที่ต้องการ ความแตกต่างระหว่างพัดลมและเครื่องเป่าลม มาตรฐาน JIS (Japanese Industrial Standards) ได้กำหนดไว้ว่าพัดลมที่มีแรงดันลมต่ำกว่า 1,000 มิลลิเมตรน้ำเรียกว่า พัดลม (Fan) ส่วนพัดลมที่มีแรงดันลมตั้งแต่ 1,000 มิลลิเมตรน้ำแต่ไม่ถึง 10 เมตรน้ำ เรียกว่า เครื่องเป่าลม (Blower) แต่ลักษณะหรือรูปทรงของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดอาจเหมือนกัน ทำให้สามารถเรียกเป็นชื่อรวมๆ ว่าพัดลม [12]

การจำแนกพัดลมสามารถแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศได้ 2 ลักษณะดังนี้

(1) พัดลมแบบไหลตามแนวแกน (Axial flow fans)

พัดลมแบบนี้อากาศจะไหลขนานกับแกนของใบพัด และตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดจะถูกติดตั้งบนแกนเพลาขับของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ภายในตัวพัดลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปกับอากาศที่ถูกขับเคลื่อน พัดลมชนิดนี้มีราคาถูก การทำงานของพัดลมมีเสียงดังและมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร จึงเหมาะกับงานระบายอากาศ มีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย

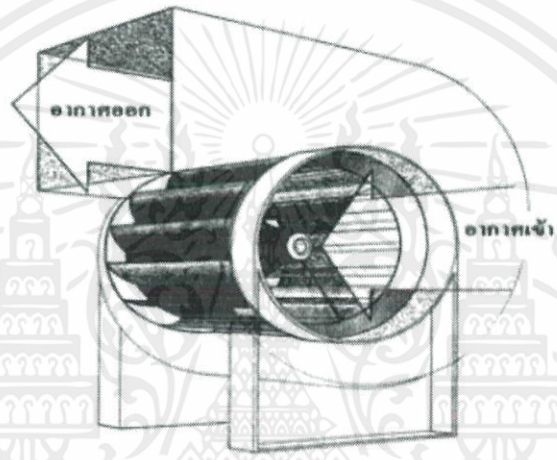


รูปที่ 2.6 พัดลมแบบไหลตามแนวแกน [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง (Centrifugal or radial fans)

พัดลมแบบแรงเหวี่ยง หรือพัดลมซึ่งมีการไหลของอากาศในแนวรัศมีจะประกอบด้วยใบพัดหมุนอยู่ภายในตัวเรือนของพัดลม (Fan house) ชุดใบพัดจะประกอบด้วยแผ่นใบเล็ก ๆ ประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะกงล้อ ความดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม ซึ่งสามารถเพิ่มค่าให้สูงขึ้นได้ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวของใบพัด ซึ่งจะทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในระบบมีค่ามากขึ้น อากาศจะไหลผ่านเข้าไปในท่อทางเข้าโดยมีทิศทางขนานกับแกนของใบพัด และไหลออกในทิศทางตั้งฉากกับแกนของเพลาใบพัดในท่อทางออก [11]



รูปที่ 2.7 พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง [11]

2.7 ทฤษฎีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับโหลดชนิดพัดลม

กฎความสัมพันธ์ของพัดลม(Fan's Law) หรือกฎการแปรผัน ใช้บอกความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆของพัดลม ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ [12]

$$N = \frac{120 \times f}{p} \tag{2.2}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \times \frac{N_1}{N_2} \tag{2.3}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{2.4}$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบ (rpm)

p คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์ (pole)

P คือ คือ ความดันลม (mmH_2O)

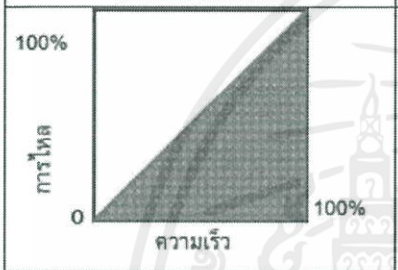
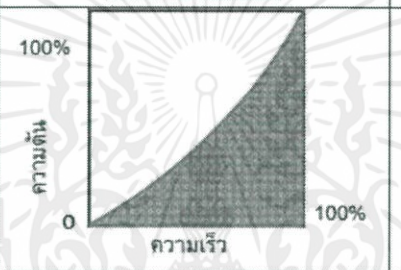
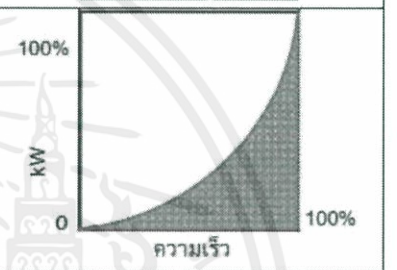
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

f คือ ความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์ (Hz)

Q คือ อัตราการไหลของของไหล ($m^3/\min$)

W คือ กำลังขับเพลา (kW)

ตารางที่ 2.1 กฎความสัมพันธ์ของพัดลม [12]

ความสัมพันธ์ระหว่าง การไหล-ความเร็ว	ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน-ความเร็ว	ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังเพลาขับ-ความเร็ว
		
$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$	$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$

กฎการแปรผันและกฎความคล้ายบอกเราว่าหากเรามีพัดลมที่มีกำลังมากเกินไป (มีขนาดใหญ่เกินไป) ไม่เพียงแต่การลดขนาดท่อลมเพื่อให้เกิดแรงต้านมากขึ้นเท่านั้น แต่หากเราเปลี่ยนขนาดของพัดลม (ใบพัด) หรือความเร็วรอบ ก็สามารถลดการใช้พลังงานลงอย่างมีประสิทธิผลอีกด้วย วิธีการนี้เป็นกลวิธีอนุรักษ์พลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกใช้หรือดัดแปลงอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยของไหล [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณไตรพิชิต แสงวงค์ ได้ทำโครงงานการประหยัดพลังงานโดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ทดแทนเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาในพระราชวังสราญรมย์ จากการศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา และแบบอินเวอร์เตอร์ โดยได้ทำการศึกษาแบบแปลนอาคารของเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา และแบบอินเวอร์เตอร์ และศึกษาค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา และแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้สูตรคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อหาระยะเวลาคืนทุน

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาระบบเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์กับแบบธรรมดา และทำการทดลองเพื่อที่จะนำค่าไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์กับแบบธรรมดามาเปรียบเทียบกัน โดยการคำนวณหน่วยไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานของแต่ละรุ่น เพื่อหาระยะเวลาคืนทุน ซึ่งพบว่าเครื่องปรับอากาศโดยทั่วไปจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ และเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ยังสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาอีกด้วย [15]

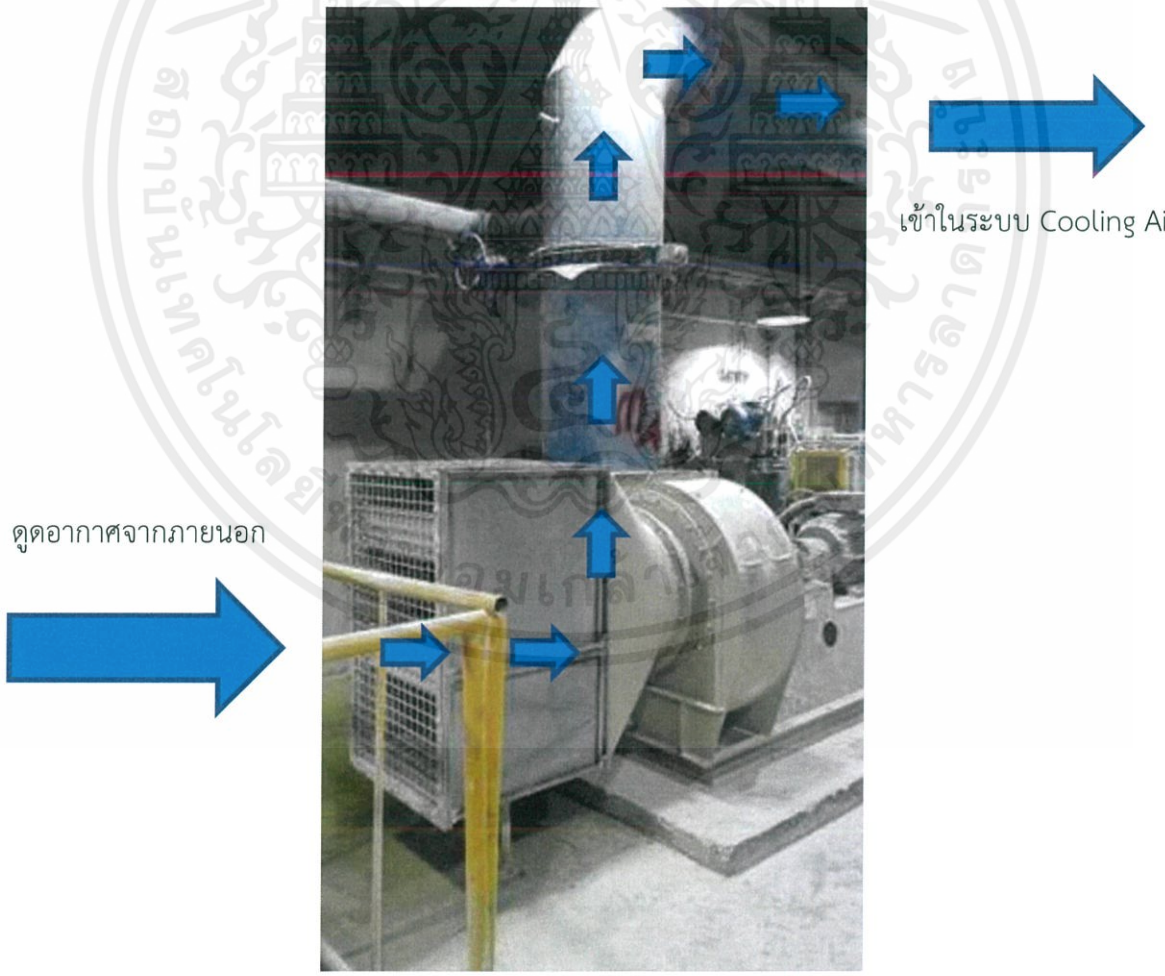
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาการทำงานของ Cooling Air Blower

Cooling Air คือ เครื่องจักรที่ช่วยในการเป่าลมเย็นไปหล่อเลี้ยงโครงสร้างภายในไส้เตาไม่ให้มีอุณหภูมิที่สูงเกินไป เนื่องจากถ้าโครงสร้างเหล็กภายในไส้เตามีอุณหภูมิที่สูงเกินจะทำให้เหล็กเกิดการขยายตัวไปชนกับผนังภายในเตา ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายภายในเตาเผา และยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตปูนอีกด้วย ดังนั้น Cooling Air จึงเป็นเครื่องจักรที่มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตปูน ซึ่งก็จะมีการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การทำงานของ Cooling Air

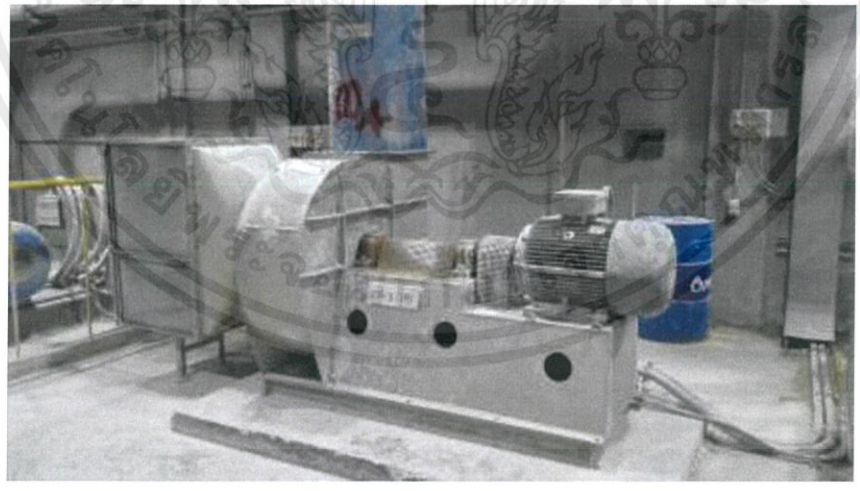
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณอากาศที่ดูดจากภายนอกเข้ามาในระบบ Cooling Air จะถูกกำหนดโดยค่าอัตราการไหล (Flow) และค่าความดัน(Pressure) ของระบบ ซึ่งสามารถควบคุมได้จากการปรับ Damper

รูปที่ 3.2 Damper ของ Cooling Air M4

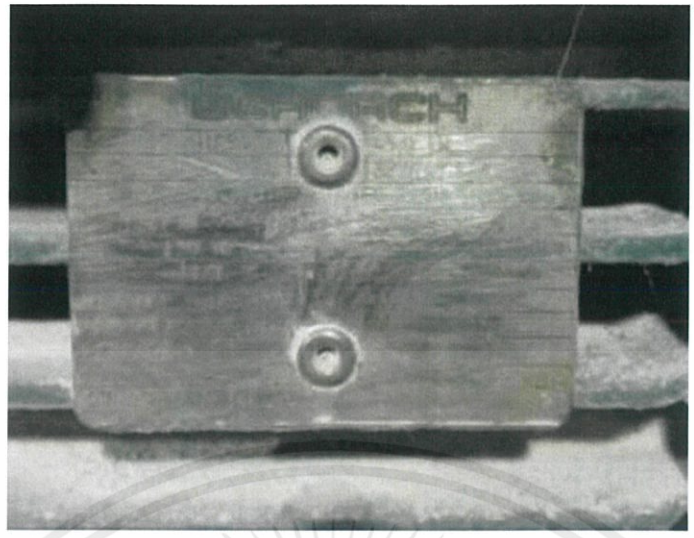
3.2 ตรวจสอบมอเตอร์ของ Cooling Air

ตรวจสอบ Name Plate ของมอเตอร์ Cooling Air เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานของมอเตอร์



รูปที่ 3.3 Cooling Air Motor M4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Name Plate ของ Cooling Air Motor M4

จากรูปที่ 3.4 แสดง Name Plate ของมอเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) 3~Motor
2) Type KA7225M – AB014 - Z
3) กำลังไฟฟ้า (Power) 45 kW
4) กระแสไฟฟ้า (Current) 82/47.5 A
5) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) 380/660 V Δ/Y
6) ความถี่ (Frequency) 50 Hz
7) จำนวนขั้ว (Pole) 2 pole
8) ความเร็วรอบ (Speed) 2,955 rpm
9) I.CL.(Insulation Class) B
10) $cos\emptyset$ (Power Factor) 0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

3.3.1 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าของ Cooling Air Motor M4

ตารางที่ 3.1 แรงดันไฟฟ้าเฟสเทียบเฟส

Phase – Phase	Voltage(V)
A-B	400.2
B-C	399.8
A-C	396.8

รูปที่ 3.5 แรงดันไฟฟ้าเฟส A-B

รูปที่ 3.6 แรงดันไฟฟ้าเฟส B-C

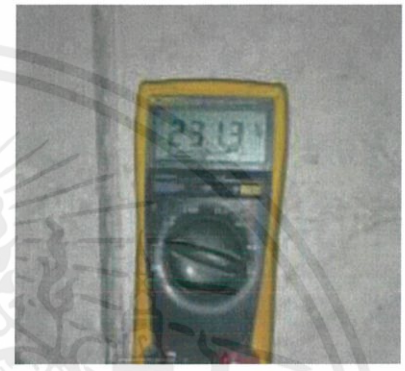
รูปที่ 3.7 แรงดันไฟฟ้าเฟส A-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แรงดันไฟฟ้าเฟสเทียบกราวด์

Phase – Ground	Voltage(V)
A	230.6
B	231.3
C	232.5

รูปที่ 3.8 แรงดันไฟฟ้าเฟส A



รูปที่ 3.9 แรงดันไฟฟ้าเฟส B

รูปที่ 3.10 แรงดันไฟฟ้าเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าของ Cooling Air Motor M4

ตารางที่ 3.3 กระแสไฟฟ้า

Phase	Ampere(A)
A	61.8
B	59.5
C	64.2

รูปที่ 3.11 กระแสไฟฟ้าเฟส A

รูปที่ 3.12 กระแสไฟฟ้าเฟส B

รูปที่ 3.13 กระแสไฟฟ้าเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 บันทึกค่าอัตราการไหลที่ใช้งานของ Cooling Air M4

ใช้งานปกติ : 10,530 nm3/h

ใช้งานมากสุด : 12,000 nm3/h

3.3.4 บันทึกค่าความดันที่ใช้งานของ Cooling Air M4

ใช้งานปกติ : 642 mmwg

ใช้งานมากสุด : 650 mmwg

3.4 การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากสมการที่ 2.1 $Power = \sqrt{3} \times V \times I \times cos\emptyset$

คิดที่ Phase A $Power = \sqrt{3} \times 400.2 \times 61.8 \times 0.89$

$= 38{,}125.557\ W$

คิดที่ Phase B $Power = \sqrt{3} \times 399.8 \times 59.5 \times 0.89$

$= 36{,}669.956\ W$

คิดที่ Phase C $Power = \sqrt{3} \times 396.8 \times 64.2 \times 0.89$

$= 39{,}269.677\ W$ (*)

จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 ของกฎการแปรผัน

$$\frac{P_1}{P_2} = (\frac{N_1}{N_2})^2 \quad , \quad \frac{W_1}{W_2} = (\frac{N_1}{N_2})^3$$

กำหนดตัวแปรแต่ละตัวจากสมการข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ต้องการทราบค่า Power หลังการติดตั้ง VSD ดังนั้นต้องรู้ความเร็วรอบที่ใช้หลังติดตั้ง VSD

2) หาความเร็วรอบได้จาก $\frac{P_1}{P_2} = (\frac{N_1}{N_2})^2$

P_1 คือ ความดันที่ใช้งานก่อนติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ เมื่อเปิด Damper 100% (ต้องการทราบค่า ?)

P_2 คือ ความดันที่ใช้งานหลังติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ เมื่อเปิด Damper 100% มีค่า 650 mmwg (คิดที่ค่าใช้งานจริงที่มากที่สุด)

N_1 คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้งาน(ที่พิกัด)ก่อนติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ มีค่า 2,955 rpm

N_2 คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้งานหลังติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (ต้องการทราบค่า ?)

W_1 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานก่อนติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์มีค่า 39,269.677 W

* **หมายเหตุ :** เลือกใช้ค่ากำลังไฟฟ้าของเฟส C เพราะว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุด

W_2 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานหลังติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (ต้องการทราบค่า ?)

เนื่องจากการปรับ Damper ของ Cooling Air M4 เตา 1 ให้ได้ 100% ไม่สามารถกระทำได้ในระหว่างกำลังดำเนินการผลิต เพราะจะส่งผลต่อระบบการผลิต ดังนั้นในการหาค่าความดันนี้จะใช้ค่าจากการปรับ Damper ของ Cooling Air ในเตาที่ 2 ซึ่งยังไม่ได้ใช้งานแทน โดยตัว Cooling Air และมอเตอร์ที่ใช้ของเตา 2 และ เตา 1 มีขนาดเท่ากัน

ตารางที่ 3.4 ตารางทดสอบการทำงานของ Cooling Air เตา 2 เพื่อใช้อ้างอิง Cooling Air เตา 1

Damper(^{o})	P(mmwg)	I(A)	W(Watt)
30	566	66.1	39,728.789
45	653	68.1	41,119.831
60	722	68.4	41,575.120
75	742	67.5	40,965.648
90	746	68.9	41,539.157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการทำงานของ Cooling Air ที่เตา 2 นี้ ทำให้สามารถวัดค่าความดันที่ใช้งานในระบบได้ แต่เนื่องจาก Cooling Air ของเตา 2 ไม่ได้เปิดการทำงานของระบบ Combustion รวมทั้งยังมีเปอร์เซ็นต์การปล่อยลมออกจากในระบบเยอะกว่าการทำงานจริง ทำให้ค่าความดันที่วัดได้อาจน้อยกว่าในการทำงานจริงเล็กน้อย

จากการสอบถามจากผู้ใช้งานที่ CCR(Central Control Room) ซึ่งได้ว่าค่าความดันที่ Damper เปิด 100% มีค่าประมาณ 800 mmwg ดังนั้น ค่าความดัน P_1 ที่ใช้งานจะมีค่าอยู่ในช่วง 746 ถึง 800 mmwg

และจากการทดสอบยังสังเกตได้ว่า เมื่อเปิด Damper ตั้งแต่ 45 องศา(50%)ขึ้นไป ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนเริ่มคงที่ ซึ่งในการทำงานปกติของ Cooling Air เตา 1 มีการเปิด Damper อยู่ที่ 45 องศา (50%) ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ ณ ขณะนั้นมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อเปิด Damper ที่ 90 องศา (100%) ดังนั้น จึงประมาณว่าค่ากำลังไฟฟ้า W_1 ที่ใช้งานจะมีค่า 39,269.677 W

กำหนดให้ $P_1 = 746\ mmwg$ และ $P_1' = 800\ mmwg$

จากสมการ $\frac{P_1}{P_2} = (\frac{N_1}{N_2})^2$, $\frac{W_1}{W_2} = (\frac{N_1}{N_2})^3$

คิดที่ $P_1 = 746\ mmwg$; $N_2 = N_1 \times \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}$

$$N_2 = 2{,}955 \times \sqrt{\frac{650}{746}} = 2{,}759\ rpm$$

$$W_2 = W_1 \times (\frac{N_2}{N_1})^3$$

$$W_2 = 39{,}269.677 \times (\frac{2{,}759}{2{,}955})^3 = 31{,}962.444\ W$$

คิดที่ $P_1' = 800\ mmwg$; $N_2' = N_1' \times \sqrt{\frac{P_2'}{P_1'}}$

$$N_2' = 2{,}955 \times \sqrt{\frac{650}{800}} = 2{,}664\ rpm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_2' = W_1' \times (\frac{N_2'}{N_1'})^3 = 39{,}269.677 \times (\frac{2{,}664}{2{,}955})^3 \quad = 28{,}773.159\ W$$

∴ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์จะมีค่าตั้งแต่ 28,773.159 ถึง 31,962.444 วัตต์

3.5 การคำนวณคิดค่าไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า (kW-hour) = กำลังไฟฟ้า (kW) x เวลา (hr)

ค่าไฟฟ้า/เดือน = พลังงานไฟฟ้า(kW-hr) x Unit ค่าไฟ x 30 วัน

Power ก่อนติดตั้ง VSD (W_1) = 39,269.677 W

Power หลังติดตั้ง VSD (W_2) = 31,962.444 W

Power หลังติดตั้ง VSD (W_2') = 28,773.159 W

ชั่วโมงการใช้งาน = 24 ชั่วโมง/วัน

Unit ค่าไฟ On Peak = 4.21 บาท (13 ชั่วโมง/วัน)

Off Peak = 2.63 บาท (11 ชั่วโมง/วัน กรณีวันเสาร์-อาทิตย์ 24 ชั่วโมง/วัน)

ค่าไฟเก่า

$$= \left(\frac{39{,}269.677}{1{,}000} \times 13 \times 4.21 + \frac{39{,}269.677}{1{,}000} \times 11 \times 2.63\right) \times 22 + (\frac{39{,}269.677}{1{,}000} \times 24 \times 2.63) \times 8$$

$$= 92{,}106.243 \text{ บาท/เดือน}$$

ค่าไฟใหม่ (คิดที่ W_2)

$$= \left(\frac{31{,}962.444}{1{,}000} \times 13 \times 4.21 + \frac{31{,}962.444}{1{,}000} \times 11 \times 2.63\right) \times 22 + (\frac{31{,}962.444}{1{,}000} \times 24 \times 2.63) \times 8$$

$$= 74{,}967.274 \text{ บาท/เดือน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไฟใหม่ (คิดที่ W_2')

$$= \left(\frac{28{,}773.159}{1{,}000} \times 13 \times 4.21 + \frac{28{,}773.159}{1{,}000} \times 11 \times 2.63\right) \times 22 + \left(\frac{28{,}773.159}{1{,}000} \times 24 \times 2.63\right) \times 8$$

$$= 67{,}486.869 \text{ บาท/เดือน}$$

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าไฟ

ระยะเวลา	ค่าไฟเก่า(บาท)	ค่าไฟใหม่(บาท)	ประหยัดได้(บาท)
1 เดือน	92,106.243	67,486.869 ถึง 74,967.274	17,138.969 ถึง 24,619.374
1 ปี	1,105,274.916	809,842.428 ถึง 899,607.288	205,677.628 ถึง 295,432.488

3.6 การเลือกขนาดสายไฟ

จากมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 กำหนดว่า สายของวงจรย่อยที่จ่ายให้มอเตอร์ตัวเดียว ต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 125 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ สามารถดูได้จากตารางในภาคผนวก ก. [13]

สำหรับมอเตอร์ Cooling Air(M4) มีขนาดพิกัดกระแสอยู่ที่ 82 A ดังนั้นขนาดสายของวงจรย่อยที่จ่ายให้มอเตอร์ต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า

$$I_{\text{สาย}} \geq 1.25 \times I_n$$

$$I_{\text{สาย}} \geq 1.25 \times 82$$

ดังนั้น $$I_{\text{สาย}} \geq 102.5\ A$$

เนื่องจากขนาดสายมอเตอร์ของเดิมมีขนาดสาย 25 ตร.มม. สามารถทนกระแสได้สูงสุด 88 A ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนสายมอเตอร์ให้มีขนาดเป็น 35 ตร.มม. ซึ่งจะสามารถทนกระแสได้สูงสุด 110 A (ผ่านมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์

จากข้อมูลบน Name Plate ของมอเตอร์ได้บอกว่ามอเตอร์ที่ใช้งานนี้อยู่ในคลาส B ดังนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานจะต้องมีขนาดไม่เกิน 200% ของกระแสพิกัดมอเตอร์ สามารถดูได้จากตาราง ในภาคผนวก ข. [13]

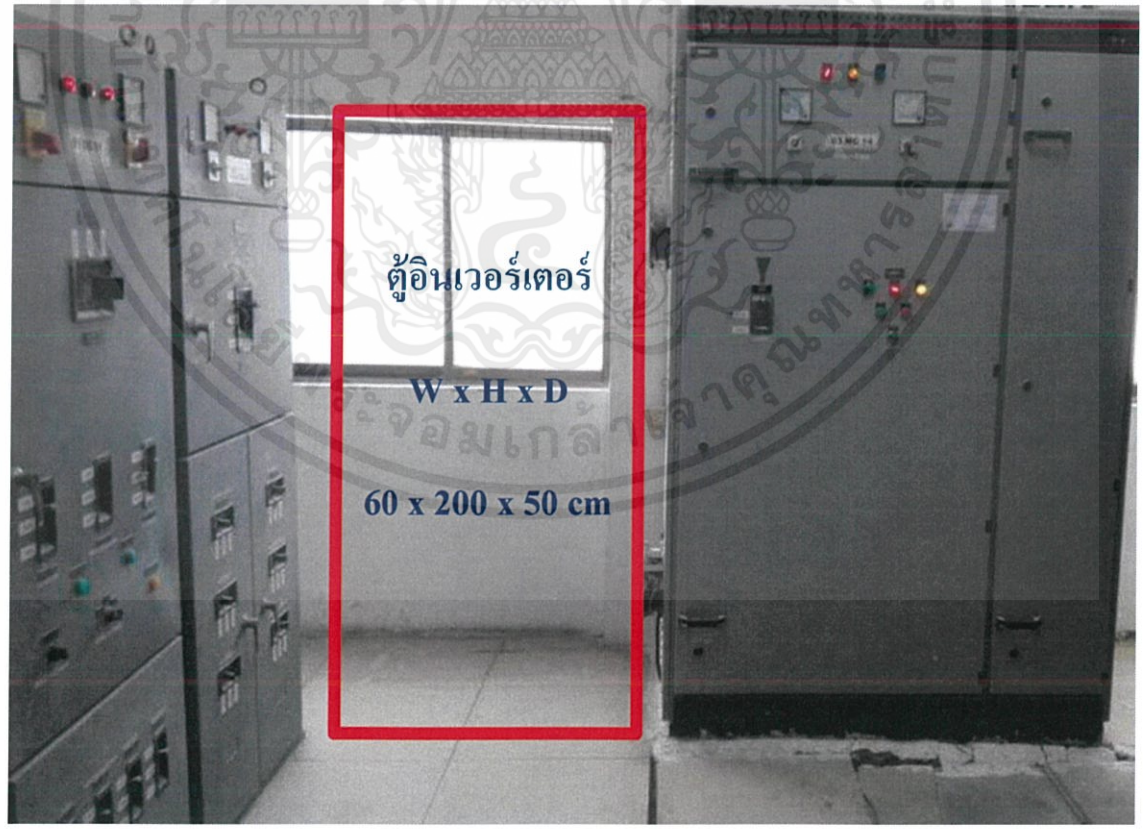
$$CB \leq 2.0 \times I_n$$

ขนาดปรับตั้ง CB $2.0 \times 82 = 164\ A$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ CB ที่ 160 AT

3.8 ตัวอย่างการเดินสายไฟ

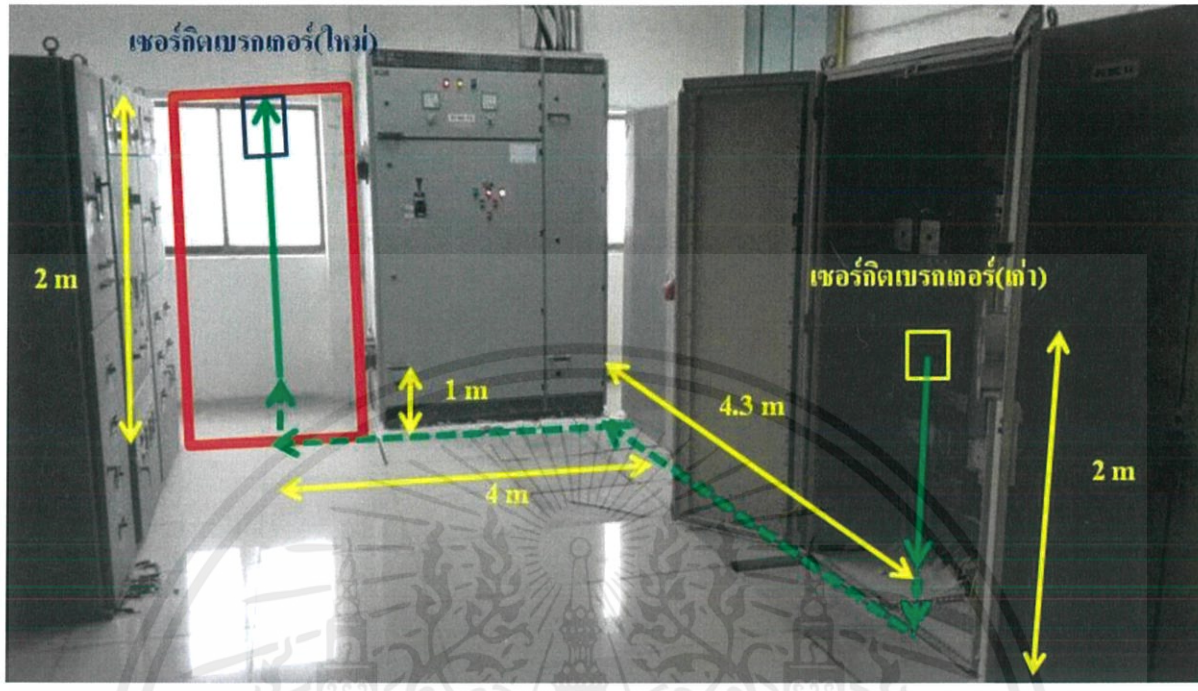
1) บริเวณที่จะติดตั้งตู้อินเวอร์เตอร์



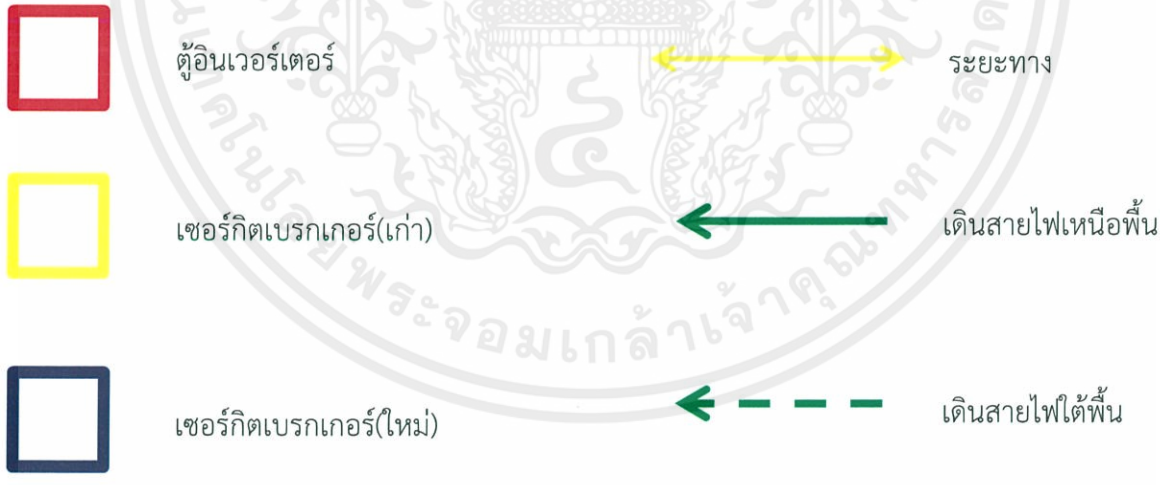
รูปที่ 3.14 บริเวณที่จะติดตั้งตู้อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเดินสายไฟจากตู้ไฟเก่าไปตู้ใหม่ (ตู้อินเวอร์เตอร์)



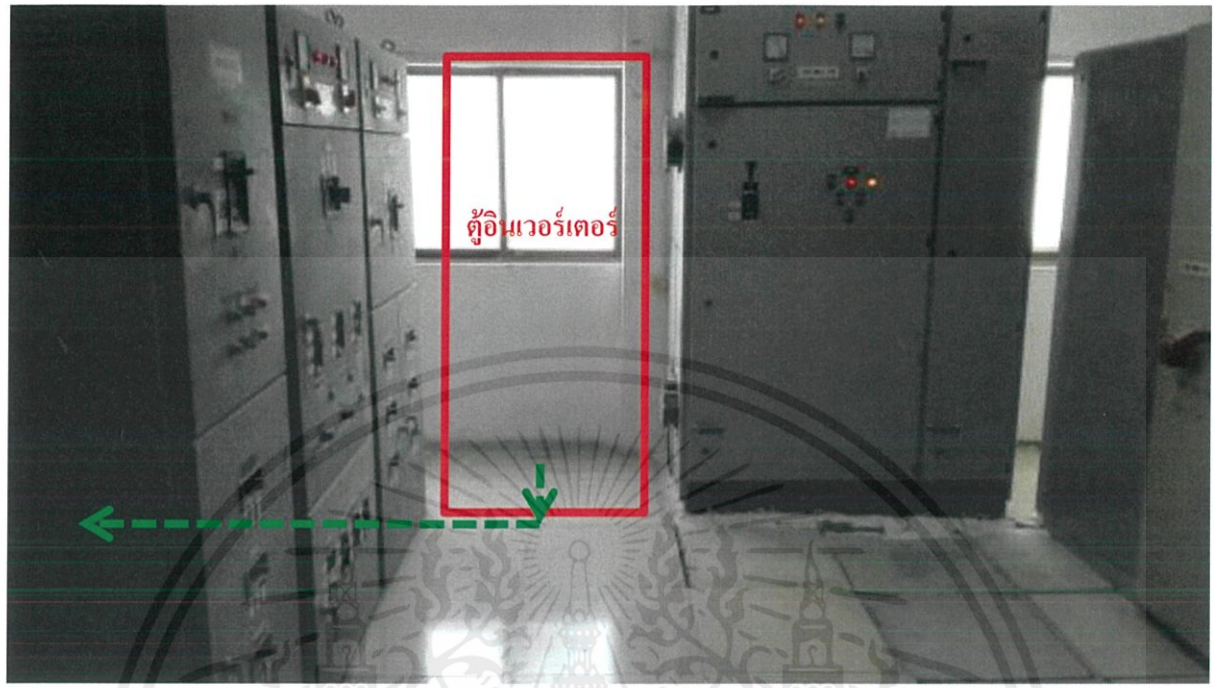
รูปที่ 3.15 การเดินสายไฟจากตู้ไฟเก่าไปตู้ใหม่



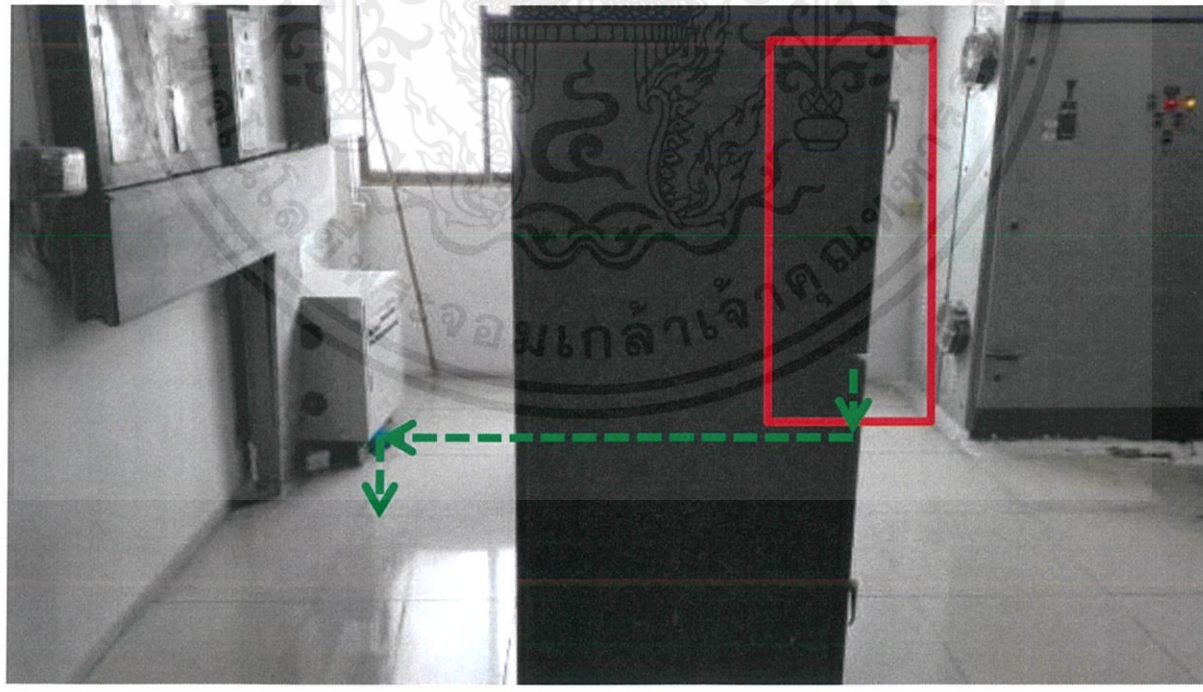
ระยะสายไฟที่ใช้ในการเดินสายจากตู้ไฟเก่าไปตู้ใหม่ประมาณ 14 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์

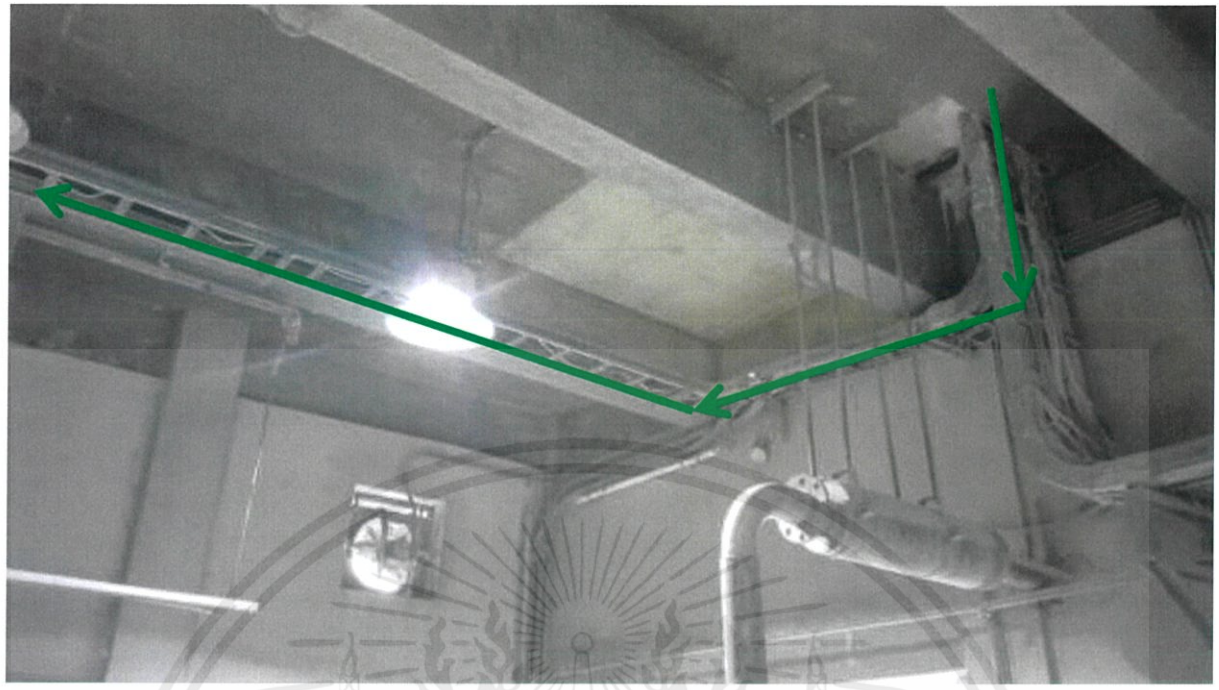


รูปที่ 3.16 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 3.17 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 2

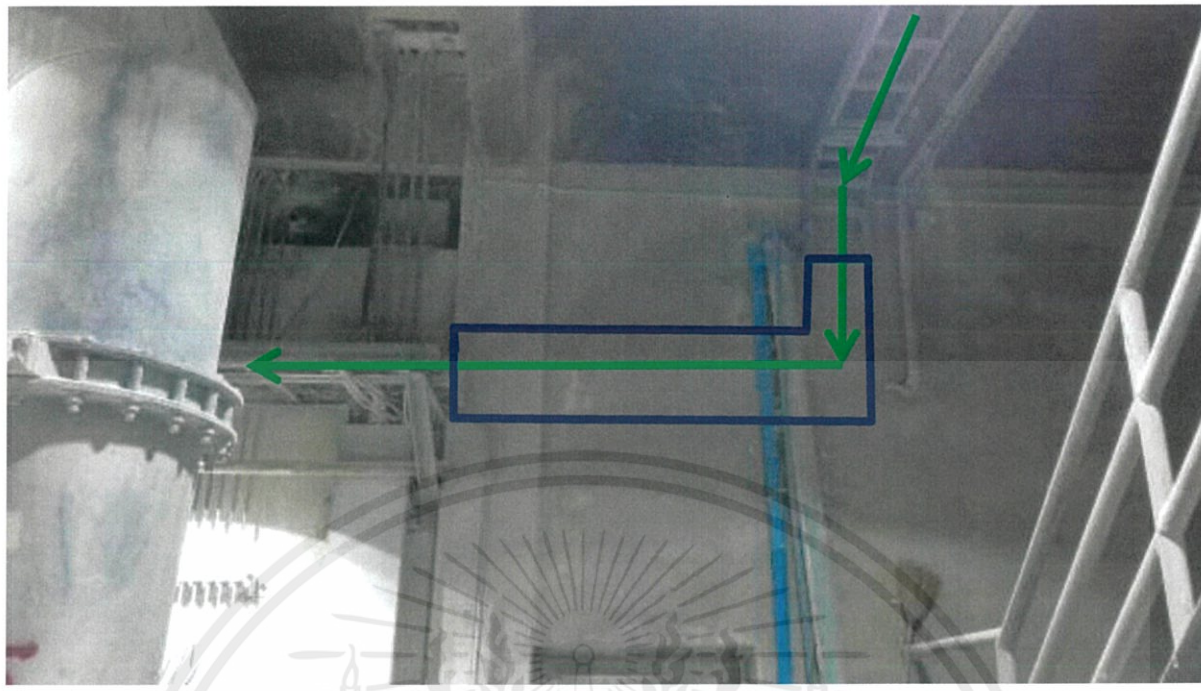
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



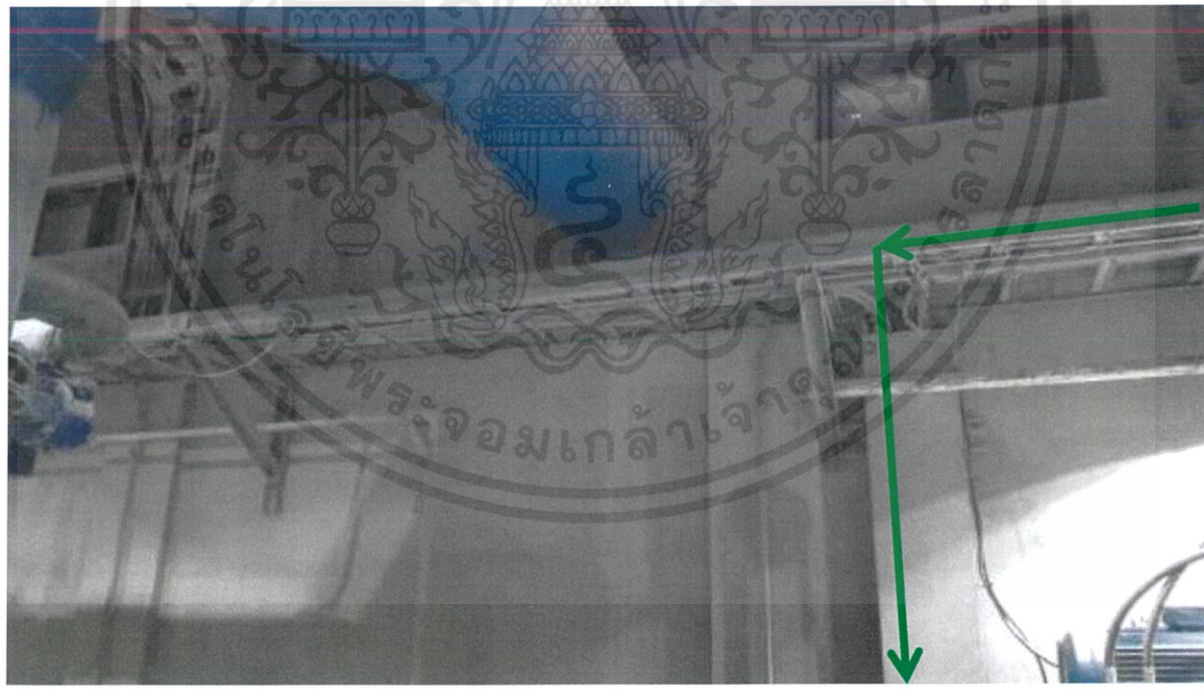
รูปที่ 3.18 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 3

รูปที่ 3.19 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

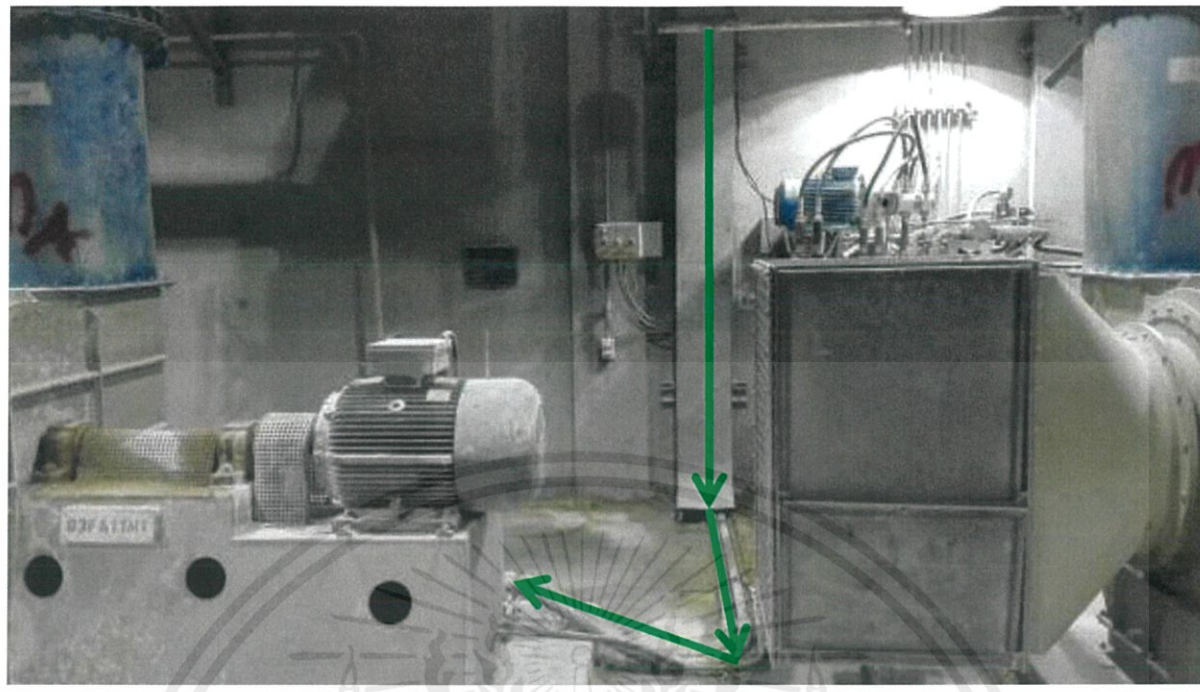


รูปที่ 3.20 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 5

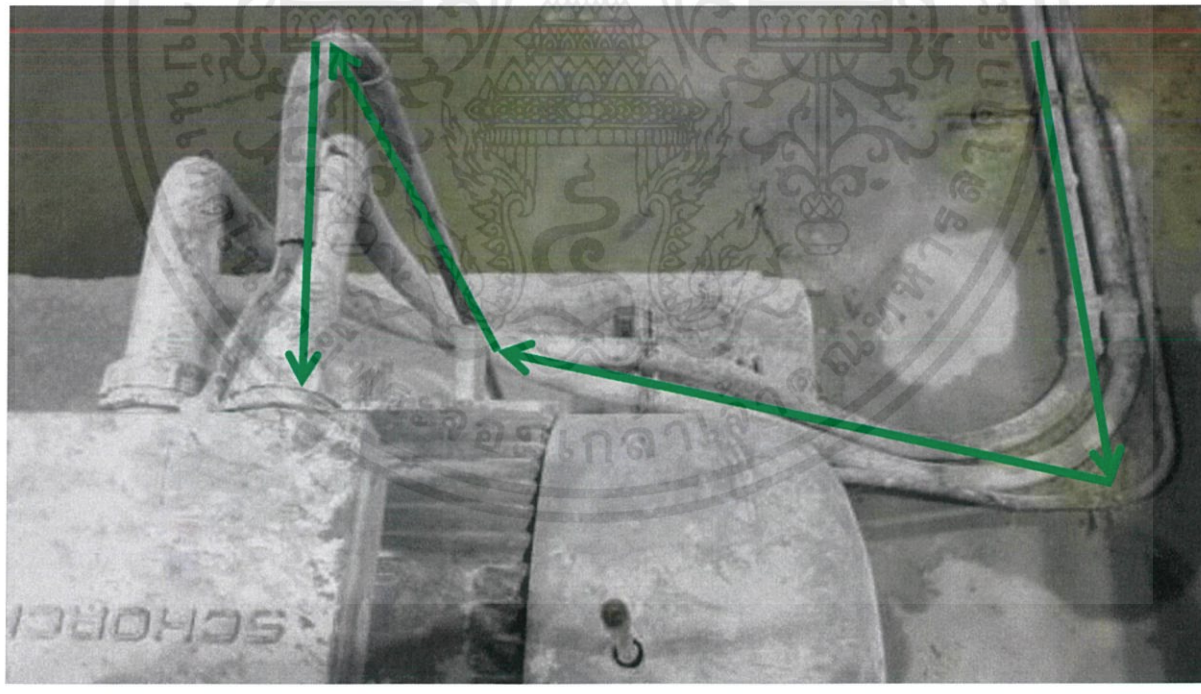


รูปที่ 3.21 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 7



รูปที่ 3.23 การเดินสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ขั้นตอนที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้อินเวอร์เตอร์

เดินสายไฟเหนือพื้น

รางเดินสาย

เดินสายไฟใต้พื้น

ระยะสายไฟที่ใช้ในการเดินสายจากอินเวอร์เตอร์ไปมอเตอร์ประมาณ 35 m

รวมความยาวสายไฟที่ใช้ทั้งหมด = 49 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้ง

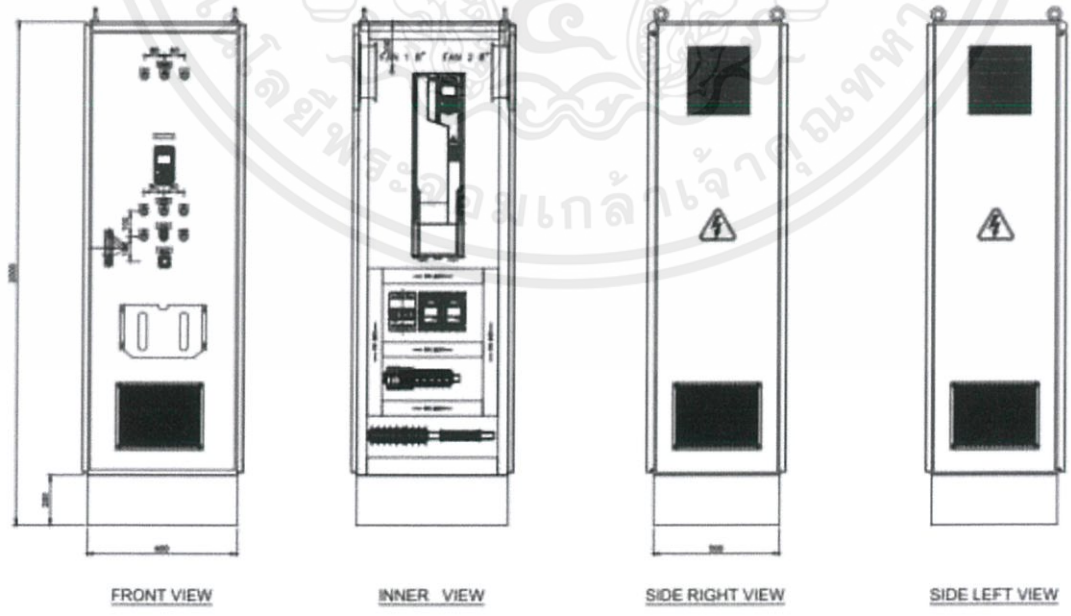
ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้ง

Item	Description	Brand	Quantity	Unit
A	**Panel VSD Control Motor 45kW**			
	-Cabinet Site 600x2000x500mm.(WxHxD)Indoor Type	N/A	1	EA
	Sheet Steel 2.5mm.Structure 2.0mm Plate & Cover			
	-MCCB 3P 160AT/250AF XT3N 36kA@415VAC	ABB	1	EA
	-VSD ACS580-01-106A-4+J400	ABB	1	EA
	-Door Mounting kit For ACS580 DPMP-EXT	ABB	1	EA
	-Pilot Lamp Dia 22mm. Coil 220Vac CL2-523	ABB	6	EA
	-Miniature Circuit Breaker 1P 6A	ABB	3	EA
	-Control Fuse 4A	ABB	3	EA
	-Control Relay Coil 220VAC	ABB	6	EA
	-Switching Power Supply 220VAC/24VDC	Omron	1	EA
	-Cable Power & Wiring 45 kW	Yazaki	1	Job
	-Control Cable & Wiring	Lapp	1	Job
	-Accessories(PVC Duct,TB,Cable Lugs,Name Plate)		1	Job
B	**Install Panel VSD Control Motor 45kW**			
	-Cable Ladder 300x100x3000mm Hotdip	N/A	1	EA
	-Cable Ladder 200x100x3000mm Hotdip	N/A	1	EA
	-Conduit IMC 2"	Panasonic	2	EA
	-liquid tight flexible conduit 2"& Connector	N/A	1	Lot
	-Main Cable NYY-G 4C x 35 Sq.mm.+G	Yazaki	14	M
	-Motor Cable NYY+G 3C x 35 sq.mm+G	Yazaki	35	M
	-Motor Thermocouple Cable Liycy 2C x 1Sq.mm+SH	Lapp	35	M
	-Control Cable 10C x 1Sq.mm.	Yazaki	14	M
	-4-20mA Cable Liycy 2Cx1Sq.mm.+SH	Lapp	15	M
	- Labour Cost		1	Job
	-Accessories & Support		1	Job
	-Transport At Site		1	Job

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRICE (BATH)	257,400.00
VAT 7%	18,018.00
GRAND TOTAL	275,418.00

รูปที่ 3.24 อินเวอร์เตอร์ที่จะติดตั้ง



รูปที่ 3.25 ตู้ไฟฟ้าที่จะติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 เปรียบเทียบการใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างกัน

จากการทดลองเก็บค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ Cooling Air M4 เตา 1 และนำมาคำนวณคิดค่าไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ รวมทั้งระยะเวลาคืนทุน เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างการทำงานของมอเตอร์แบบปกติกับการนำอินเวอร์เตอร์มาช่วยในการทำงาน โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างกัน

ลักษณะการใช้งาน	ความถี่ (Hz)	Power (kW)	ค่าไฟต่อปี (บาท)	เงินที่ประหยัดได้/ปี(บาท)	ระยะเวลาคืนทุน(เดือน)	การประหยัดพลังงาน(%)
Direct	50.0	39.270	1,105,284	-	-	0
Inverter	46.00 (ใช้งานจริง)	30.579	860,670	244,614	13.5	22.1
	45.0	28.628	805,764	299,520	11.1	27.1
	40.0	20.106	595,896	509,388	6.5	48.8
	35.0	13.470	379,116	726,168	4.6	65.7
	30.0	8.483	238,764	866,520	3.8	78.4
	25.0	4.909	138,168	967,116	3.4	87.5
	20.0	2.513	70,740	1,034,544	3.2	93.6
	15.0	1.061	29,868	1,075,416	3.1	97.3
	10.0	0.315	8,868	1,096,416	3.0	99.2
	5.0	0.040	1,128	1,104,156	3.0	99.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงอัตราการคุ้มทุน

เงินที่ประหยัดได้	205,677.628 - 295,432.488 บาท
ค่าใช้จ่าย	275,418.000 บาท
ระยะเวลาคุ้มทุน	0.93 – 1.34 ปี (ประมาณ 12 – 16 เดือน)

เนื่องด้วยระยะเวลาในการทำโครงงานนี้มีไม่เพียงพอ ทำให้ยังไม่สามารถติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อเก็บค่าการใช้พลังงานนำมาเปรียบเทียบกับการคำนวณก่อนการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ได้

ดังนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้คำนวณจากทางทฤษฎีมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของทางบริษัท ที.จี. คอนโทรล จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทรับเหมาที่เคยได้นำอินเวอร์เตอร์มาทดลองเก็บค่าการใช้พลังงานของมอเตอร์ Cooling Air เตา 2

4.2 โครงการประหยัดพลังงาน(ของบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด)

การวิเคราะห์พลังงานที่ได้จากการวัดจริงหลังติดตั้ง VSD Cooling Air ขนาด 45 kW (ของบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด)

โครงการประหยัดพลังงานบริษัท เคมีแมน จำกัด (มหาชน)

Project Cooling Air 45 kW โดยใช้ VSD ของ Inverter ABB-ACS-580-01-088A-4+J400

ขนาดมอเตอร์	45 kW	ภาวะโหลด	85 %	มอเตอร์ทำงานจริง	38.25 kW
Flow Rate	- m^3/h	ชม./วัน	24 hr/day		
Pressure	- bar	ว/ด	30 วัน		
Power	38.3 kW	ชม./ปี	8,640 hr/year		
rpm motor	2,955 rpm	unit	4.2 บาท		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คำนวณค่าพลังงานและระยะเวลาคุ้มทุนตามค่าที่วัดจริง

ลักษณะการใช้งาน	Hz	rpm	Power(kW)	hr/year	kWh/year	unit (บาท)	ค่าไฟต่อปี	การประหยัดพลังงาน (%)
Direct	50.0	2,955	38.25	8,640	330,480	4.2	1,388,016	0
Inverter	45.0	2,660	27.88	8,640	240,920	4.2	1,011,864	27.1
	40.0	2,364	19.58	8,640	169,206	4.2	710,664	48.8
	35.0	2,069	13.12	8,640	113,355	4.2	476,089	65.7
	30.0	1,773	8.26	8,640	71,366	4.2	299,739	78.41

ดังนั้นคิดอัตราการคุ้มทุน

ค่าอุปกรณ์	Inverter ACS-580-01-088A-4+J400 ขนาด 45 kW		84,000 บาท
	ตู้ + อุปกรณ์		120,000 บาท
	ค่าติดตั้ง		40,000 บาท
	รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด		244,000 บาท

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า(ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ VSD สำหรับมอเตอร์ Cooling Air 45 kW)

ลักษณะการใช้งาน	Hz	ค่าไฟต่อปี	เงินที่ประหยัดได้/ปี	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
Direct	50.0	1,388,016	-	-
Inverter	45.0	1,011,864	376,152	7.8
	40.0	710,664	677,352	4.3
	35.0	476,089	911,927	3.2
	30.0	299,739	1,088,277	2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบข้อมูลทางทฤษฎีกับการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีของโครงงานนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองเก็บค่าของบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด สามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังตารางนี้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบข้อมูลทางทฤษฎีกับการทดลอง

ความถี่(Hz)	Power(kW)		ค่าไฟต่อปี		เงินที่ประหยัดได้ / ปี		ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	
	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง
50.0	39.270	38.25	1,105,284	1,388,016	-	-		-
45.0	28.628	27.88	805,764	1,011,864	299,520	376,152	11.1	7.8
40.0	20.106	19.58	595,896	710,664	509,388	677,352	6.5	4.3
35.0	13.470	13.12	379,116	476,089	726,168	911,927	4.6	3.2
30.0	8.483	8.26	238,764	299,739	866,520	1,088,277	3.8	2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่า ซึ่งผลจากการคำนวณทางทฟษฎีสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ให้มอเตอร์ Cooling Air สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ได้ถึง 8.691 กิโลวัตต์ และลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานของโรงงานได้อีก 244,641 บาท เมื่อมีการใช้งานมอเตอร์ Cooling Air ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต โดยมีระยะเวลาคืนทุนของโครงงานนี้เป็นเวลา 1 ปี กับอีก 2 เดือน แต่ทั้งนี้การใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน และระยะเวลาคืนทุนอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของมอเตอร์ Cooling Air ที่ใช้งาน ซึ่งทางโรงงานจะเป็นคนกำหนด

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระยะเวลาในการทำโครงงานวิจัยนี้มีไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถได้ติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อทดสอบเก็บค่าการใช้พลังงานนำมาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลทางทฤษฎีนี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการวิเคราะห์พลังงานที่ได้จากการวัดจริงหลังติดตั้ง VSD Cooling Air ขนาด 45 kW ของทางบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด แทน

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ และข้อมูลที่ได้จากการทดลองเก็บค่าของบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด จะเห็นได้ว่าข้อมูลจากทางทฤษฎีและจากการทดลองมีค่าแตกต่างกันพอสมควร เนื่องจากตัวแปรของทางทฤษฎีกับการทดลองต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้งานมีค่าต่างกันเล็กน้อย การคิดค่าไฟต่อปีของทางบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด ไม่มีการคิดช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) และช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) ซึ่งเป็นส่วนที่ส่งผลต่อค่าไฟฟ้า รวมทั้งต้นทุนอุปกรณ์และค่าติดตั้งสำหรับโครงงานนี้ และของทางบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด ที่เคยมานำอินเวอร์เตอร์มาทดสอบเก็บค่าพลังงาน มีราคาต้นทุนอุปกรณ์และค่าติดตั้งไม่เท่ากัน ทำให้ให้ค่าไฟฟ้าที่คำนวณได้กับค่าทดสอบเก็บค่าของบริษัท ที.จี.คอนโทรล จำกัด มีค่าต่างกัน ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนแตกต่างไปด้วย ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงยังสามารถนำไปดำเนินการต่อยอดได้อีกในอนาคตเพื่อหาผลสรุปจากการทดลองติดตั้งอินเวอร์เตอร์ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Factomart Industrial Product Marketplace. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับ 3 เฟส. ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2562, จาก https://mall.factomart.com/มอเตอร์ไฟฟ้าสลับ-3-เฟส/

[2] Factomart Industrial Product Marketplace. บทที่ 3 การสตาร์ทมอเตอร์ทำไมต้องมีหลายวิธี. ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2562, จาก https://mall.factomart.com/guide-to-motor-control/why-different-starting-methods/

[3] Factomart Industrial Product Marketplace. บทที่ 3.2 การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า Star-Delta Starter. ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2562, จาก https://mall.factomart.com/guide-to-motor-control/star-delta-starter/

[4] Factomart Industrial Product Marketplace. บทที่ 3.4 การสตาร์ทสต๊อปและควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย VFD. ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2562, จาก https://mall.factomart.com/guide-to-motor-control/vfd-variable-frequency-drive-ac-drive-inverter/

[5] Harn Engineering Solution. อินเวอร์เตอร์ คืออะไรในระบบทำความเย็น. ค้นเมื่อ 18 มกราคม 2562, จาก https://www.harn.co.th/th/articles/is-an-inverter-important-to-cooling-system/

[6] Factomart Industrial Product Marketplace. หลักการทำงานของ Inverter Drive. ค้นเมื่อ 14 มกราคม 2562, จาก https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-inverter-drive/

[7] Factomart Industrial Product Marketplace. วิธีการเลือก Inverter Drive. ค้นเมื่อ 14 มกราคม 2562, จาก https://www.factomart.com/th/factomartblog/how-to-select-inverter-drive/

[8] Factomart Industrial Product Marketplace. ประเภทของ Inverter Drive. ค้นเมื่อ 15 มกราคม 2562, จาก https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-inverter-drive/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] Caty Fairclough. (2017). Analyzing the Structural Integrity of an Induction Motor with Simulation. COMSOL BLOG. Retrieved January 19, 2019, from https://www.comsol.com/blogs/analyzing-the-structural-integrity-of-an-induction-motor-with-simulation/

[10] dede. อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2562, จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20Technogy3.htm

[11] iEnergyGuru. พัดลม (FAN). ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2562, จาก https://ienergyguru.com/2015/09/fan/

[12] 2.4 พัดลมและเครื่องเป่าลม. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2562, จาก https://www.dip.go.th/Portals/0/electrical%20handbook/16พัดลมและโบลวเออร์.pdf

[13] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2557). มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย. ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท โกลบอล กราฟฟิค จำกัด

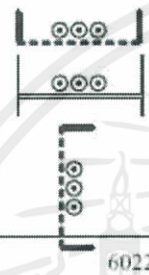
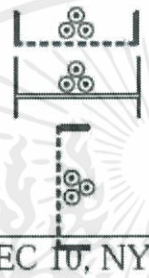
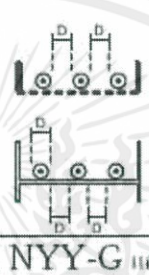
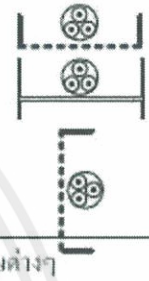
[14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2004). ตอนที่ 4 บทที่ 1 ระบบอัดอากาศ ปั๊มน้ำ และพัดลม. In ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส (ผอส.) ด้านความร้อน (หน้า 1-1 - 1-72).

[15] ไตรพิชิต แสงวงค์. (2558). การประหยัดพลังงานโดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ทดแทนเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาในพระราชวังสราญรมย์. ค้นเมื่อ 20 มกราคม 2562, จาก http://www.research-system.siam.edu/co-operative/3453-2016-11-18-08-47-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7				
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง					
รหัสชนิดเคเบิลใช้งาน	60227 IEC 10, NYY, NYY-G และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น				
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	-	-	-	-	13
1.5	-	-	-	-	16
2.5	-	-	-	-	22
4	-	-	-	-	30
6	-	-	-	-	37
10	-	-	-	-	52
16	-	-	-	-	70
25	99	96	127	113	88
35	124	119	157	141	110
50	151	145	191	171	133
70	196	188	244	221	171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสาย และป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	ฟิวส์ทำงานไว	ฟิวส์หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดทันที	เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ทั้งหมด และมอเตอร์ 3 เฟส แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่หรือเริ่มเดินผ่านตัวต้านทานหรือรีแอ็กเตอร์				
• ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
• รหัสอักษร F ถึง V	300	175	700	250
• รหัสอักษร B ถึง E	250	175	700	200
• รหัสอักษร A	150	150	700	150
มอเตอร์กระแสสลับทั้งหมด แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัสซึ่งเริ่มเดินโดยผ่านหม้อแปลงออโตกระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์				
• ไม่มีรหัสอักษร	250	175	700	200
กระแสเกิน 30 แอมแปร์				
• ไม่มีรหัสอักษร	200	175	700	200
• รหัสอักษร F ถึง V	250	175	700	200
• รหัสอักษร B ถึง E	200	175	700	200
• รหัสอักษร A	150	150	700	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายปฏิภาณ ปัทมาวิไล
วัน เดือน ปีเกิด	12 มกราคม พ.ศ. 2540
ที่อยู่	4/327 หมู่บ้านโชคชัยปัญจทรัพย์ ถนนรามคำแหง 184 แขวง/เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510
การศึกษา	กำลังศึกษาอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชั้นปี 4 ปีการศึกษา 2561
เบอร์โทรศัพท์	087-512-1567
อีเมล์	guy_patiphan@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้