รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

# การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน
# Improved Power Management and Energy Conservation


นายธัชวิทย์ สายยืด



ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

# การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน
# Improved Power Management and Energy Conservation


นายธัชวิทย์ สายยืด

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีราชพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


ปีการศึกษา 2561


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

## การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน

## Improved Power Management and Energy Conservation

นายธัชวิทย์ สายยืด

ปฏิบัติงาน ณ บริษัท ซันฟู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
เลขที่ 69 หมู่ 6 ต.คำพราน อ.วังม่วง จ.สระบุรี 18220
โทรศัพท์ 082-561-1455 โทรสาร (00) 3673-0245,(00) 3673-0246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ชื่อโครงงานสหกิจ** การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน
**ชื่อ-สกุล นักศึกษา** นายธัชวิทย์ สายยืด
**คณะ** วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
**ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ** ผศ.ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล
**ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน** นายพงศ์พันธ์ แซ่โล่
**สถานประกอบการ** บริษัทซันฟู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

## บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทซันฟู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด แผนกวิศวกรรมที่ได้ให้โอกาสเข้าร่วมในการวางแผนจัดทำเกี่ยวการปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำและระบบแสงสว่างในพื้นที่โรงชำแหละ (Over-head clean zone) ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับการรับไก่ที่ผ่านการคัดน้ำหนักตามที่ต้องการ แล้วชำแหละไก่แยกเป็นส่วนต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงาน จะเป็นการสำรวจแล้วจัดทำแบบทางไฟฟ้าและออกแบบระบบจำหน่ายแรงดันต่ำใหม่ของระบบน้ำทั้งหมด เพื่อให้ตู้ควบคุมการทำงานเหมาะสมแก่การใช้งานในปัจจุบัน และลดการใช้พลังงานของโรงชำแหละ โดยการเปลี่ยนหลอดไฟจากหลอดไฟเรืองแสงเป็นหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง เป็นการประยุกต์ใช้การออกแบบระบบแสงสว่างในพื้นที่การทำงานต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบแสงสว่างจากโปรแกรมช่วยออกแบบ “DIALux” ก่อนการปรับปรุงเพื่อให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง แล้วใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันในการจำลองหลอดไฟชนิดที่ต้องการเปลี่ยนแปลง เพื่อความสว่างที่เหมาะสมแก่การทำงาน

ผลการวิจัยพบว่า ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำประปาเป็นระบบที่ไม่ผ่านมาตราฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ควรได้รับการปรับปรุงให้ถูกต้องตามหลักมาตราฐานและการใช้หลอด LED แทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 63 ซึ่งถ้าลงทุนเปลี่ยนมีระยะเวลาการคุ้มทุนอยู่ที่ 10 เดือน

คำสำคัญ : ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ, ระบบแสงสว่าง,หลอดไฟไดโอดเปล่งแสง, Over-head clean zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Cooperative Title :** Improved Power Management and Energy Conservation
**Student intern name :** Ms. Tudchawit Saiyued
**Faculty :** Engineering **Department**: Electrical Engineering
**Advisor name** : Asst. Prof. Dr. Nirud Jirasuvankul
**Mentor name :** Ms. Pongpan Sealo
**Company** : Sunfood International Co., Ltd

## ABSTRACT

This cooperative education report is supported by Engineering Department of the Sun food International Co., Ltd., that give an opportunity to participate in the design of the improvement of low voltage distribution systems of water systems and lighting systems in the Slaughterhouse (Over-head clean zone). The objective is to increase the efficiency of energy management by surveying and making electrical diagram for designing new distribution systems of water systems. Then decrease an energy consumption of lighting systems in the Slaughterhouse by changing the lamp from a fluorescent lamps to a light emitting diode lamps (LED) and use lighting simulation program "DIALux" to design lighting system for an appropriate illuminance for operation.

The research findings indicated that low voltage distribution systems of water systems incorrect according to standard. It should be improved. And changing fluorescent to LED lamp can reduce energy consumption that about 63%.If we do , we will have payback period 10 month.

Keyword : distribution systems, lighting systems, LED, Over-head clean zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นได้รับการ สนับสนุนจากหลายฝ่ายที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทาง ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้บรรลุวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้คอยคำปรึกษา ชี้แนะ ดูแล ตลอดระยะเวลาในการปฏิบัติหกิจศึกษา รวมถึงช่วยตรวจทาน แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์และคอยให้คำปรึกษาสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณ บริษัทซันฟู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่มอบโอกาสในการเข้ามาทำสหกิจประจำปีการศึกษา 2561 รวมถึงคุณพงศ์พันธ์ แซ่โล่ หัวหน้าแผนกวิศวกรรม และ ผู้นิเทศงาน ซึ่งเป็นผู้ดูแลและที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง พร้อมทั้งสนับสนุนสำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ตลอดการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอพระคุณมารดา รวมถึงคนในครอบครัวเป็นอย่างสูง ที่คอยสนับสนุนในเรื่อง ต่าง ๆ ให้กำลังใจรวมไปถึงให้คอยคำปรึกษา จนทำให้เกิดเป็นแรงผลักดันทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จและผ่านลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์

ธัชวิทย์ สายยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

**บทที่ 1 บทนำ**

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....3

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

**บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

2.1 บทนำ.....5

2.2 แนวคิดในการปรับปรุง.....6

2.3 แสงและการมองเห็น.....7

2.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของแสง.....7

2.3.2 การกำเนิดของแสง.....9

2.3.3 หน่วยที่ใช้ในการวัดแสงสว่าง.....10

2.3.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไป.....11

2.4 เทคโนโลยีให้ความสว่าง.....12

2.4.1 หลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนท์.....12

2.4.2 หลอด High Intensity Discharge (HID).....14

2.4.3 หลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium , HPS).....15

2.4.4 หลอดแสงจันทร์หรือหลอดไฟไอปรอท(Mercury Vapor Lamp).....17

2.4.5 หลอดเรืองแสง (Fluorescent tube ).....19

2.4.6 หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode , LED).....23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง หน้า


2.5 มาตรฐานการติดตั้งระบบแสงสว่างในอุตสาหกรรมชนิดต่าง ๆ.....27
2.5.1 ตารางแสดงความสว่างที่เหมาะสมในพื้นที่ต่าง ๆ.....28
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า.....40
2.6.1 มาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า.....40
2.6.2 ศัพท์เฉพาะ หรือคำจำกัดความ ด้านระบบไฟฟ้า ที่ควรรู้.....40
2.6.3 ระบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟส.....40
2.6.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....41
2.6.5 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า.....42
2.6.6 หม้อแปลงไฟฟ้า.....42
2.6.7 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า.....43
2.6.8 การต่อลงดิน.....43
2.6.9 อุปกรณ์ตัดตอน หรืออุปกรณ์ปลดวงจร.....44
2.6.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้า.....44
2.6.11 การคำนวนหาขนาดของสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน.....47
2.7 การทดสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า.....49
2.7.1 ฉนวนไฟฟ้าที่ดี.....49
2.7.2 สาเหตุที่ทำให้ฉนวนไฟฟ้าแย่ลง.....50
2.7.3 วิธีการวัดค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า.....50
2.7.4 เหตุผลที่ต้องมีการทดสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า.....51
2.7.5. อุปกรณ์ไฟฟ้าอะไรที่ต้องทดสอบการเสื่อมของฉนวน.....51
2.7.6 ผลของตัวประกอบจากการอ่านค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า.....52
2.7.7 มาตรฐานแรงดันทดสอบ.....53
2.7.8 วิธีการทดสอบความต้านทานฉนวนไฟฟ้า.....54
2.7.9 ผลของอุณหภูมิเมื่อทำการทดสอบความต้านทานฉนวนไฟฟ้า.....60
2.7.10. ผลของความชื้น.....62
2.8 การประเมิณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....62
2.8.1.ระยะเวลาคืนทุน (Payback period).....62
2.8.2.วิธีระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (Discount Payback period :DPB).....63
2.8.3.มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ(Net Present Value).....63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง หน้า


**บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย**

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย....65

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย....66

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล....68

3.4 การวิเคราะห์และศึกษาข้อมูล....68

3.5 ศึกษาข้อมูล....70

3.6 สร้างแบบจำลอง....71

3.7 การปฏิบัติงานด้านเทคนิค....73

**บทที่ 4 ผลการวิจัย**

4.1 ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ....74

4.1.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา....79

4.1.2 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข....79

4.1.3 วางแผนการปรับปรุงแก้ไข....80

4.1.4 ประเมิณค่าใช้จ่าย....83

4.1.5 สรุปผลการดำเนินงาน....85

4.2 ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ....85

4.2.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา....85

4.2.2 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข....85

4.2.3 วางแผนการปรับปรุงแก้ไข....86

4.2.4 ประเมิณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์....87

4.2.5 สรุปผลการดำเนินงาน....87

**บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

5.1 สรุปผลการทดลอง....88

5.2 ข้อเสนอแนะ....88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงโทนสีของแสงจากหลอดไฟชนิดต่าง ๆ .....8

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีการให้ความสว่าง.....27

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์) บริเวณโดยรอบที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงานโดยสายตามองเฉพาะจุดในการปฏิบัติงาน.....28

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณการผลิต.....28

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ณ ที่ที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงาน.....32

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานเทียบเคียงความเข้มของแสงสว่าง ณ ที่ที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงาน.....38

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานแรงดันทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC).....54

ตารางที่ 2.8 สภาพของฉนวนกำหนดจากค่า DAR และค่า PI* .....56

ตารางที่ 2.9 ค่า PI ต่ำสุดของมอเตอร์ไฟฟ้า AC และ DC (มาตรฐาน IEEE 43-2000 และ IEEE 1-2000).....58

ตารางที่ 2.10 ข้อพิจารณาในการทดสอบค่า DAR และค่า PI.....58

ตารางที่ 2.11 ค่าแฟกเตอร์อุณหภูมิมาตรฐาน (Corrected Temperature 20 °C.....61

ตารางที่ 3.1 ตารางสำรวจระบบจำหน่ายแรงดันต่ำระบบน้ำ.....67

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบหลอดไฟก่อนและหลังการปรับปรุง.....70

ตารางที่ 4.1 ตารางการสำรวจระบบน้ำประปาก่อนการปรับปรุง.....74

ตารางที่ 4.2 ตารางการสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการปรับปรุง.....77

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงสายไฟของภาระไฟฟ้าของระบบน้ำประปาที่ควรได้รับการปรับปรุง.....80

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงสายไฟของภาระไฟฟ้าของระบบบำบัดน้ำเสียที่ควรได้รับการปรับปรุง.....81

ตารางที่ 4.5 ตารางการประเมินราคาค่าอุปกรณ์การปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำทั้งหมด.....84

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่เลือกใช้.....86

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง.....87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

**รูปที่** **หน้า**


รูปที่ 2.1 รังสีช่วงที่ตามองเห็น....8

รูปที่ 2.2 วงจรต่อใช้งานหลอดไส้....14

รูปที่ 2.3 วงจรต่อใช้งานหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ....15

รูปที่ 2.4 วงจรต่อใช้งาน....17

รูปที่ 2.5 วงจรต่อใช้งานหลอดไอปรอท....19

รูปที่ 2.6 หลอดนีออนดั้งเดิม (neon lamp)....20

รูปที่ 2.7 สีของหลอดไฟตามชนิดของก๊าซ....21

รูปที่ 2.8 รูปร่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์....22

รูปที่ 2.9 โครงสร้างหลอดไดโอดเปล่งแสง....24

รูปที่ 2.10 LED module....25

รูปที่ 2.11 LED Driver....25

รูปที่ 2.12 Heat sink....26

รูปที่ 2.13 ลักษณะของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า....41

รูปที่ 2.14ก สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดา....45

รูปที่ 2.14ข Emergency push button....45

รูปที่ 2.15 รูปแสดงสวิตช์เลือก (Selector switch )....45

รูปที่ 2.16 รูปแสดงแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)....46

รูปที่ 2.17 รูปแสดงโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay)....47

รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบการรั่วของน้ำ (a) กับการรั่วไหลของกกระแสไฟฟ้า (b)....49

รูปที่ 2.19 เครื่องมือวัดความเป็นฉนวนเมกเกอร์แบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดมือหมุน (500 VDC หรือมากกว่านั้น)....51

รูปที่ 2.20 สเกลย่านการวัดเครื่องวัดความเป็นฉนวนเมกเกอร์ ย่านขวามือสุด 0.1 Ω เป็นย่านค่าความต้านทานต่ำ ส่วนย่านซ้ายมือสุด 20 k Ω ถึง $\alpha$ หรือย่านความต้านทานสูง....51

รูปที่ 2.21 ไดอะแกรมการทดสอบการไหลของกระแสในฉนวน....52

รูปที่ 2.22 เกิดค่ากระแสประจุคาปาซิแตนซ์ (IC)....52

รูปที่ 2.23 เส้นโค้งที่แสดงองค์ประกอบของกระแสเมื่อทดสอบฉนวนไฟฟ้าด้วยไฟฟ้า DC....53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**


รูปที่ 2.24 กระแสซึมซับเพื่อจัดโมเลกุลของวัสดุ และจัดเรียงขั้วให้ถูกต้อง.....53

รูปที่ 2.25 เส้นโค้งแสดงความต้านทานฉนวนไฟฟ้าตามเวลา ตามวิธีการทดสอบอ่านค่าลงเป็นจุด ๆ.....54

รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจากอดีตจนถึงปัจจุบัน.....55

รูปที่ 2.27 การต่อเครื่องวัดฉนวนไฟฟ้าเมกเกอร์ วัดความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าเทียบกับท่อโลหะ (กราวด์).....55

รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้าของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงจากอดีตจนปัจจุบัน.....56

รูปที่ 2.29 ตัวอย่างเส้นโค้งที่แสดงผลการซึมซับทางไดอิเล็กตริก เมื่อทำการทดสอบวิธีเวลา–ความต้านทาน.....56

รูปที่ 2.30 เส้นโค้งพล็อตเทียบเวลา-ความต้านทานเทียบกับฉนวนดี DAR =3.5 และฉนวนอาจจะมีปัญหา DAR =1.0.....57

รูปที่ 2.31 แสดงตัวอย่างการทดสอบค่า PI ของมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 350 HP.....58

รูปที่ 2.32 เส้นโค้งการทดสอบแรงดันเป็นขั้น.....59

รูปที่ 2.33 กราฟแสดงก่อนและหลังการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้า.....59

รูปที่ 2.34 เป็นค่าความต้านทานฉนวนของมอเตอร์ที่ไม่ได้มีการแก้ไขให้เป็นอุณหภูมิมาตรฐาน 20°C.....61

รูปที่ 2.35 เป็นค่าความต้านทานฉนวนของมอเตอร์ที่แก้ไขเป็นอุณหภูมิมาตรฐาน 20 °C ทั้งหมดแล้วของมอเตอร์ที่อ่านได้ทั้งไม่ได้มีการแก้ไขและมีการแก้ไขให้เป็นอุณหภูมิมาตรฐานที่ 20 °C.....62

รูปที่ 3.1 โปรแกรมสร้างแบบจำลองความเข้มแสง DIALux evo.....66

รูปที่ 3.2 โปรแกรมสร้างแบบจำลองการ 3 มิติ Sketchup PRO 2018.....67

รูปที่ 3.3 แสดงกรอบการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองตอนที่ 1.....68

รูปที่ 3.4 แสดงกรอบการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองตอนที่ 2.....69

รูปที่ 3.5 แบบไฟฟ้าของระบบน้ำเสีย.....71

รูปที่ 3.6 แบบไฟฟ้าของระบบน้ำประปา.....71

รูปที่ 3.7 แบบจำลอง 3 มิติห้องควบคุมระบบไฟฟ้าของระบบน้ำ.....72

รูปที่ 3.8 การแบ่งส่วนการคำนวณของโรงชำแหละ.....72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**

รูปที่ 3.9 แบบจำลอง 3 มิติของพื้นที่ส่วนที่ 1 ..... 73
รูปที่ 3.10 การจำลองความเข้มแสงด้วยหลอดไฟชนิด Fluorescent 2*36 W
ด้วยโปรแกรม DIALux EVO ..... 73
รูปที่ 4.1 แบบจำลองค่าความเข้มแสงในบริเวณโรงชำแหละ ..... 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กลุ่มธุรกิจซันกรุ๊ป[1] ดำเนินธุรกิจไก่ครบวงจรทั้งไก่เนื้อและไก่ไข่ บริษัทซันฟู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล เป็นบริษัทที่ประกอบธุรกิจโรงเชือดไก่และแปรรูปเนื้อไก่สดเนื้อไก่แช่แข็ง เพื่อการส่งออก กลุ่มธุรกิจซันกรุ๊ปเปิดมาแล้วกว่า 20 ปี และบริษัทมีนโยบายที่ให้ความสำคัญของการผลิตอาหารที่ปลอดภัยและมีคุณภาพสูง ซึ่งถือเป็นความรับผิดชอบต่อผู้บริโภค ดังนั้นการให้ความสำคัญกับมาตรฐานและคุณภาพระดับสากล ISO 9001:2000 , ISO 14001 , SQF 2000 , GMP ,HACCP and HALAL system จึงเป็นกลยุทธ์สำคัญในการสร้างความสามารถในการแข่งขันบนเวทีการค้าโลกให้กับบริษัท ปัจจุบันมีกำลังการผลิตไก่สดชำแหละสูงสุดที่ 200,000 ตัวต่อวัน

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อทุกคนทำให้มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก[2] ความก้าวหน้าทางด้านต่างๆ ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ในขณะที่ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตพลังงานกำลังลดลง จึงได้มีคนมากมายเริ่มคิดเทคโนโลยีและวิธีการต่างๆเพื่อที่จะลดการใช้พลังงานและจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีตัวชี้วัดที่เห็นได้ชัดคือประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่อการผลิต[3] และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ทั่วโลกให้ความสำคัญ ไม่เว้นแม้แต่ประเทศไทย ทั้งทางภาครัฐยังได้มีการออกกฎหมายและนโยบายต่างๆ[4-5] เพื่อให้ประชาชนและผู้ประกอบการได้ตระหนักถึงการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากกลุ่มบริษัทซันกรุ๊ป ซึ่งมีนโยบายการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์อันสูงสุด และ อยู่ภายใต้ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๐ [5] เพื่อให้เป็นไปตาม พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๐ และเพื่อจัดการพลังงานและลดค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า จึงได้มีการวางแผนจัดทำโครงการหลากหลายโครงการเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ ซึ่งมีหลากหลายระบบที่ควรปรับปรุงและพัฒนาเพื่อสนองต่อนโยบาลของภาครัฐ ซึ่งระบบแสงสว่างและการปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำมีส่วนช่วยตามนโยบายโดยการดำเนินงานภายในโรงไฟฟ้ามีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในปริมาณมากตลอดเวลาเกือบตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งทางด้าน ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบบำบัดน้ำ ระบบการผลิต เป็นต้น ซึ่งระบบต่างๆมีความสำคัญต่อโรงงานมากในการผลิตสินค้าตามที่ต้องการ จากการศึกษาข้อมูลพบว่าภายในบริษัทมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2559 สูงถึง 36,995,854.68 หน่วย เป็นการใช้ด้านแสงสว่าง 1,294,854.91 หน่วย และในปี พ.ศ. 2560 สูงถึง 38,154,720.0 หน่วย เป็นการใช้ด้านแสงสว่าง 1,335,415.20 หน่วย จากการสำรวจเนื่องจากระบบแสงสว่างภายในโรงชำแหละไก่มีการใช้อุปกรณ์ให้แสงสว่างในบริเวณการผลิตเป็นประเภทหลอดไฟเรืองแสง ซึ่งเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพต่ำและความสว่างไม่เหมาะสมกับลักษณะงานที่ทำ จึงได้มีการวางแผนจัดทำโครงการเพื่อลดการใช้พลังงานด้านแสงสว่างภายในโรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชำแหละ โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน โดยอุปกรณ์ที่นำมาทดแทนอุปกรณ์เดิมคือหลอดไฟประเภทไดโอดเปล่งแสง[6] ซึ่งหลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพสูงทั้งทางด้านพลังงานที่ใช้ อายุการใช้งาน ความสว่าง และมีการโฟกัสของแสงที่มากกว่าหลอดชนิดอื่นๆ[7]และเพิ่มความส่องสว่างให้เหมาะสมกับการใช้งานของบุคลากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดอาการเมื่อยล้าที่เกิดจากการทำงานในที่มีความสว่างไม่เหมาะสมของบุคลากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานด้วย และระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำของโรงงานถูกใช้งานมาแล้วกว่า 20 ปี โดยไม่มีการพัฒนาหรือบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานมีประสิทธิภาพที่ต่ำ ไม่มีความปลอดภัยต่อบุคลากรและเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ทันสมัย ทำให้ยากต่อการจัดการพลังงานในด้านต่างๆให้เหมาะสมกับการใช้งานใช้งานเพื่อเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะพัฒนาระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำให้ทันสมัยมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพร้อมทั้งเตรียมตัวรองรับการจัดการพลังงานที่ทันสมัยในอนาคตเช่น ระบบการควบคุมกำกับดูแลและเก็บข้อมูล (Supervisory Control and Data Acquisition : SCADA)[8] เป็นต้น ซึ่งจะทำให้สามารถเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำพร้อมทั้งสามารถพัฒนาเป็นระบบอัจฉริยะได้ในอนาคต

โครงการนี้จะเป็นการศึกษาการเปลี่ยนระบบแสงสว่างภายในโรงชำแหละไก่และการปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำ โดยจะเปลี่ยนจากการใช้หลอดไฟเรืองแสง เป็นหลอดไฟฟ้าชนิดไดโอดเปล่งแสงซึ่งมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าและมีอายุการใช้งานที่สูงกว่า ศึกษาทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าทางด้านราคา เปรียบเทียบระหว่างหลอดไฟเรืองแสงกับหลอดไดโอดเปล่งแสงและความเหมาะสมของความส่องสว่างในการทำงานของบุคลากร ระบบจำหน่ายทำการตรวจสอบความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้พร้อมทั้งออกแบบระบบใหม่ให้เหมาะสมในการใช้งานและตอบสนองการใช้งานจริงมากขึ้นและเปลี่ยนจากระบบอนาล็อกเป็นระบบดิจิตอลเพื่อรองรับระบบใหม่ที่จะเข้ามาในอนาคต

**1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1.) เพื่อลดการใช้พลังงานของโรงชำแหละ ตามแผนการจัดการพลังงาน และนโยบายของโรงงาน

2.) เพื่อเตรียมความพร้อมอุปกรณ์ในการจะพัฒนาและจัดการพลังงานของระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำ

3.) สามารถเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการให้ความสว่างที่เพียงพอต่อพื้นที่การใช้งาน

4.) ลดค่าใช้จ่ายทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและการซ่อมบำรุงระบบแสงสว่างและระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำ

5.) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานในการติดตั้งระบบแสงสว่างเพื่อเป็นประโยชน์ต่อองค์กรในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.) เพื่อให้มีความสว่างที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน เพื่อลดการเมื่อยล้าของบุคลากรและความปลอดภัยต่อบุคลากรภายในโรงชำแหละ

7.) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานในการติดตั้งระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำเพื่อเป็นประโยชน์ต่อองค์กรในการจัดการพลังงานไฟฟ้าต่อไป

8.) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรภาพของระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำ

**1.3 ขอบเขตของการวิจัย**

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนระบบให้แสงสว่างในโรงชำแหละบริเวณงาน Over-head ในโรงชำแหละ จากการใช้โคมไฟ 2 หลอด ชนิดหลอดไฟเรืองแสง ขนาด 36 W (2*36 Fluorescent lamp ) เป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งให้ความสว่างที่เพียงพอ หรือเทียบเคียงกับความสว่างจากหลอดเดิม และประเมินค่างบประมาณที่ต้องใช้ในการซื้ออุปกรณ์และการติดตั้ง พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด ค่าไฟฟ้า ระยะเวลาคืนทุนและผลตอบ แทนของการเปลี่ยนหลอด

2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำทั้งระบบบำบัดน้ำเสียและระบบน้ำโดยเปลี่ยนตู้สวิตซ์บอร์ดหลักและตู้ควบคุมภาระไฟฟ้าทั้งหมดของทั้ง 2 ระบบและประเมินค่างบประมาณที่ต้องใช้ในการซื้ออุปกรณ์และการติดตั้ง

3. ระบบป้องกันนอกจากระบบป้องกันกระแสลัดวงจรและป้องกันกระแสเกิน ไม่อยู่ในแผนการปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงต่ำของระบบน้ำ

4. การใช้ระบบแสงสว่างและค่าไฟของโรงงานมีข้อดูลดังต่อไปนี้

4.1 ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน

4.2 ใช้งาน 6 วันต่อสัปดาห์

4.3 ค่าเฉลี่ยของค่าไฟเท่ากับ 3.5 บาทต่อหน่วย

**1.4 วิธีดำเนินการวิจัย**

ปรับปรุงระบบให้แสงสว่างบริเวณโรงชำแหละ

1.) ศึกษาระบบแสงสว่างภายในโรงชำแหละจากแบบแปลนและที่ใช้งานจริงของโรงงาน เพื่อดูบริเวณที่สามารถปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในโรงงานได้

2.) ศึกษาหลักการทำงานของหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ การต่ออุปกรณ์ของหลอดไฟ อัตราการใช้พลังงานของแต่ละหลอด อายุการใช้งาน และข้อเด่น ข้อด้อยของหลอดไฟแต่ละชนิด

3.) สร้างโมเดลแบบจำลองของโรงชำแหละจากแปลนก่อสร้างโรงงาน โดยใช้โปรแกรม SketchUp Pro 2018 เพื่อนำไปจำลองระบบแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) จำลองระบบแสงสว่างภายในอาคารของโรงชำแหละโดยใช้โปรแกรม DIALUX EVO เพื่อเปรียบเทียบความสว่างระหว่างหลอดเรืองแสงกับหลอดไดโอดเปล่งแสง

5.) วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงของหลอดไฟภายในโรงไฟฟ้าและหลอดที่จะนำมาติดตั้ง

6.) คำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดเมื่อเปลี่ยนหลอดไฟเพื่อหาจุดคุ้มทุน

7.) จัดทำเอกสารข้อมูลทั้งหมดของโครงการพร้อมเสนอต่อหัวหน้าแผนกและผู้บริหาร

8.) จัดหาผู้ขายเพื่อทำใบเสนอราคาเปรียบเทียบราคา

9.) ติดตั้งชุดทดลองก่อนลองใช้จริง

10.) เปลี่ยนหลอดไฟตามแผนที่วางไว้ทั้งหมด

ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

1.) สำรวจระบบไฟฟ้าทั้งหมดพร้อมตรวจสอบสภาพและความเหมาะสมของอุปกรณ์
2.) วาดแบบไฟฟ้า
3.) ออกแบบและปรับปรุงระบบไฟฟ้าใหม่ให้มีความถูกต้องเหมาะสมกับงานมากขึ้น
4.) จัดทำเอกสารข้อมูลทั้งหมดของโครงการพร้อมเสนอต่อหัวหน้าแผนกและผู้บริหาร
5.) จัดหาผู้ขายเพื่อทำใบเสนอราคาเปรียบเทียบราคา

**1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.) ระบบแสงสว่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีอายุการใช้งานที่มากขึ้น

2.) ได้รับความรู้ความเข้าใจในการติดตั้งและออกแบบระบบแสงสว่าง

3.) ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงชำแหละในระยะยาว

4.) ได้รับผลตอบแทนจากการเปลี่ยนระบบแสงสว่างหลังจากระยะเวลาคืนทุน

5.) ได้รับทักษะด้านการทำงาน

6.) เป็นประโยชน์ในการวางแผนดำเนินงานในการติดตั้งระบบแสงสว่างต่อองค์กรเพื่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อไป

7.) พัฒนาระบบจำหน่ายแรงดันต่ำให้ทันสมัยและรองรับการพัฒนาในอนาคต

8.) ทำให้ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำมีเสถียรภาพมากขึ้น เพื่อลดความผิดปกติที่เกิดจากระบบไฟฟ้าพร้อมทั้งใช้เวลาในการซ่อมบำรุงที่น้อยลง

9.) ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งและมีความปลอดภัยมากขึ้นในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 บทนำ

ในการปรับปรุงอุปกรณ์ให้ความสว่างในพื้นที่โรงชำแหละของโรงงานและระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากหนังสือ วารสาร ตำรา วิทยานิพนธ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องต่างๆ ที่ถูกต้องพร้อมทั้งสามารถเปลี่ยนอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งในบทนี้เป็นบทที่กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดกับการปฏิบัติงานครั้งนี้โดยจะมีเรื่องที่เกี่ยวกับหลอดไฟ การหาพลังงานที่ถูกใช้พร้อมความคุ้มค่าในการลงทุน การคำนวณความสว่างโดยใช้โปรแกรมจำลองความสว่างเสมือนจริง DIAlux EVO ชนิด อุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจร อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน แมกเนติกคอนแทกเตอร์ วัตต์ฮาวมิเตอร์ มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าจะช่วยให้ผู้ศึกษาเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับงานวิจัยเรื่องนี้ไม่มากก็น้อย ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อเรียงลำดับดังนี้

1. แนวคิด
2. คุณสมบัติแสงทั่วไป
3. เทคโนโลยีให้ความสว่าง
4. มาตรฐานการติดตั้งระบบแสงสว่างในอุตสาหกรรม
5. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า
6. การทดสอบค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้า
7. การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

## 2.2 แนวคิดในการปรับปรุง

### 2.2.1 ยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศไทย[5]

พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช มีพระบรมราชโองการโปรดเกล้าฯ ให้ประกาศว่า โดยที่เป็นการสมควรมีกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ตราพระราชบัญญัติขึ้นไว้โดยคำแนะนำและยินยอมของสภานิติบัญญัติแห่งชาติ ทำหน้าที่รัฐสภา คือพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ต่อมา พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช มีพระบรมราชโองการโปรดเกล้าให้ประกาศแก้ไข พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 เป็น พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550 โดยมีหลักการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยโดยให้มีการผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด
2. เพื่อให้เกิดการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในประเทศและมีการใช้อย่างแพร่หลาย
3. เพื่อก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม โดยการจัดตั้งกองทุนเพื่อส่งเสริม การอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้ความช่วยเหลือทางการเงินแก่ผู้ที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตาม กฎหมาย

กลุ่มเป้าหมายตามพระราชบัญญัติกลุ่มเป้าหมายที่รัฐเข้าไปกำกับดูแลและให้การส่งเสริมเพื่อให้เกิดการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วย

1. โรงงานควบคุม
2. อาคารควบคุม
3. ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายเครื่องจักร อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง และวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงาน

โดยกลุ่มอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมจะเน้นไปที่อาคารและโรงงานที่มีการใช้พลังงานมาก มาตรการในการดำเนินการ มาตรการในการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตาม หลักการประกอบด้วย

1. มาตรการกำกับดูแล พระราชบัญญัติได้กำหนดให้เจ้าของอาคารควบคุมและเจ้าของโรงงานควบคุมมีหน้าที่ต้องดำเนินการตามกฎหมาย โดยมีรายละเอียดในหัวข้อ “3 หน้าที่ของเจ้าของ อาคารควบคุมและโรงงานควบคุม”
2. มาตรการส่งเสริมและช่วยเหลือการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน พระราชบัญญัติได้กำหนดให้จัดตั้งกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมา โดยมีคณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริม 17 การอนุรักษ์พลังงานตามมาตรา 27 เป็นผู้กำกับดูแล วัตถุประสงค์หลักของกองทุนฯ กำหนดไว้ในตาม มาตรา 25 เพื่อเป็นการสนับสนุนอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมให้ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตาม กฎหมาย และในขณะเดียวกันก็กำหนดให้สามารถให้ความช่วยเหลือแก่ผู้อื่นที่มีความประสงค์จะ อนุรักษ์พลังงานได้ด้วย

บทลงโทษ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 เป็นกฎหมายที่เน้นการส่งเสริมและช่วยเหลือ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้พระราชบัญญัติมีสภาพบังคับ จึงมีบทกำหนดโทษในลักษณะของค่าปรับ สำหรับผู้ที่ไม่ดำเนินการตามกฎหมาย ในเรื่องการไม่ส่งและบันทึกข้อมูล การไม่จัดทำเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน การไม่ตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการไม่แจ้งแต่งตั้งผู้รับผิดชอบพลังงาน สำหรับผู้ใดรับรองผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการอนุรักษ์พลังงานอันเป็นเท็จจะต้องระวางโทษจำคุกหรือปรับหรือทั้งจำทั้งปรับ (รายละเอียดของบทกำหนดโทษ ตามหมวดที่ 9 ของพระราชบัญญัติ)

ค่าธรรมเนียมพิเศษ นอกจากมาตรการกำกับดูแลโดยมีบทลงโทษในลักษณะของค่าปรับ แล้ว พระราชบัญญัตินี้ยังมีการกำหนดค่าธรรมเนียมพิเศษการใช้ไฟฟ้าสำหรับผู้ที่ไม่ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นไปตามมาตรฐาน ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวงว่าด้วยกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีการประกาศใช้ค่าธรรมเนียมพิเศษนี้แต่อย่างใด

## 2.3 แสงและการมองเห็น

ดวงตาของมนุษย์สามารถรับแสงที่มีความเข้มน้อยมากๆ เช่น แสงริบหรี่ในห้องมืด ๆ ไปถึงแสงสว่างจ้าของแสงแดดตอนเที่ยงวัน ซึ่งมีความเข้มแสงมากกว่าถึง 10 เท่า นอกจากนี้ดวงตายังสามารถปรับให้มองเห็นได้แม้ตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์เล็กๆ สามารถบอกรูปร่างและทรวดทรงที่แตกต่างกันในที่ที่มีความเข้มของแสงแตกต่างกันมากๆได้ โดยการปรับของรูม่านตา(Pupil)

เนื่องจากดวงตาเป็นอวัยวะที่มีความไวต่อแสงมาก สามารถรับรู้ได้เมื่อมีแสงสว่างเพียงเล็กน้อย เช่น แสงจากดวงดาวที่อยู่ไกลในคืนเดือนมืดจนถึงแสงสว่างที่มีปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากเรตินาจะมีเซลล์รับแสง 2 ชนิด คือ

เซลล์รูปแท่ง(Rod Cell) ทำหน้าที่รับแสงสว่าง (สลัว) ที่ไวมาก สามารถมองเห็นภาพขาวดำ เซลล์ รูปแท่งจะไวเฉพาะต่อแสงที่มีความเข้มน้อย โดยจะไม่สามารถจำแนกสีของแสงนั้นได้

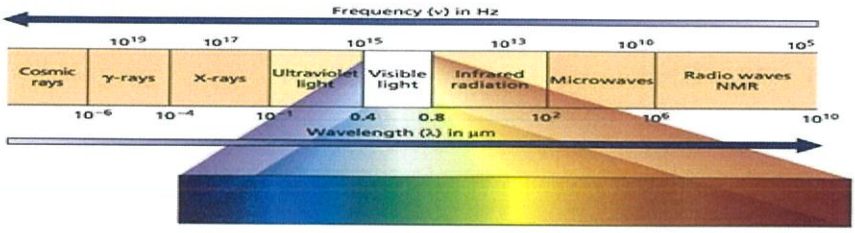
เซลล์รูปกรวย(Cone Cell) จะไวเฉพาะต่อแสงที่มีความเข้มสูงถัดจากความไวของเซลล์รูปแท่ง และสามารถจำแนกแสงแต่ละสีได้ด้วย เซลล์รูปกรวยมี 3 ชนิด แต่ละชนิดจะมีความไวต่อแสงสีปฐมภูมิต่างกัน ชนิดที่หนึ่งมีความไวสูงสุดต่อแสงสีน้ำเงิน ชนิดที่สองมีความไวสูงสุดต่อแสงสีเขียว และชนิดที่สามมีความไวสูงสุดต่อแสงสีแดง เมื่อมีแสงสีต่างๆ ผ่านเข้าตามากระทบเรตินา เซลล์รับแสงรูปกรวยจะถูกกระตุ้น และสัญญาณกระตุ้นนี้จะถูกส่งผ่านประสาทตาไปยังสมอง เพื่อแปรความหมายออกมาเป็นความรู้สึกเห็นเป็นสีของแสงนั้นๆ ซึ่งแสงสีต่างๆเกิดได้จากหลักการดังต่อไปนี้

### 2.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของแสง

แสง เป็นพลังงานรูปหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานรูปอื่น ๆ มีคุณสมบัติเป็นคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับ คลื่นวิทยุคลื่นโทรทัศน์คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นของรังสีต่าง ๆ เมื่อแสงเคลื่อนที่ไปในตัวกลางต่าง ๆ จะมีปรากฏการณ์ที่สำคัญเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน 5 ปรากฏการณ์คือ การทะลุผ่าน (Transmission) การสะท้อน (Reflection) การหักเห (Refraction) การกระจาย (Diffusion) และการดูดกลืน (Absorption) โดยจะแตกต่างกันไปในตัวกลางแต่ละชนิด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเลือกใช้วัสดุตลอดจนการออกแบบ และการติดตั้งดวงโคมแสงที่ตาคนเราสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มองเห็น เป็นเพียงแถบพลังงานช่วงแคบ ๆ ที่มีค่าความยาวคลื่นระหว่าง 380-760 นาโนเมตร ซึ่งก็คือแถบสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง ตามลำดับ ดังรูป 2.1




**รูปที่ 2.1** รังสีช่วงที่ตามองเห็น

ที่มา : http://brecosmeticlab.com/newslet/stock/antiage_biolum.html

โดยแสงที่ตาคนเรา ตอบสนองได้ดีที่สุด คือ แสงสีเหลือง ส่วนแถบสีที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ ได้แก่แดง เขียว น้ำเงิน หรือที่เรียกว่า แม่สีของ แสง ซึ่งสามารถผสมกันเกิดเป็นแสงสีอื่น ๆ ออกมาได้และถ้ามีแม่สีดังกล่าวครบจะทำให้เกิดการ มองเห็นสีได้อย่างถูกต้อง การที่มองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ กันนั้น เกิดจากการที่วัตถุดูดกลืนแสงสีอื่นไว้ ทั้งหมด และสะท้อนเฉพาะแสงสีที่เป็นสีของวัตถุนั้นมาเข้าสู่ตาของเรา ดังนั้นการเห็นสีของวัตถุใด ๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางสีของแสง (Color Properties of Light) ซึ่งได้แก่

1) อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) คือ การระบุสีของแสงที่ปรากฏให้เห็นโดยเทียบกับแสงที่เปล่งจากวัตถุที่อุณหภูมิใด ๆ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K) เป็นค่าที่บอกว่าแสงที่ได้มี ความขาวมากน้อยแค่ไหน หากมีอุณหภูมิต่ำแสงที่ได้จะอยู่ในโทนอุ่น (เหลืองแดง) เช่น แสงจากหลอด ไส้ที่มีอุณหภูมิสี 2,700 K ส่วนพระอาทิตย์ในยามเที่ยงวันที่ให้แสงขาวจ้านั้นจะมีอุณหภูมิสีประมาณ 5,500 K ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่านี้แสงที่ได้ก็จะอยู่ในโทนเย็น (ฟ้า) แต่หลอดไฟฟ้าทั่วไป เช่น หลอด ฟลูออเรสเซนต์อาจไม่ระบุค่าอุณหภูมิเป็นเคลวิน แต่มักแสดงโดยชื่อของโทนสีดังนี้

**ตารางที่ 2.1** ตารางแสดงโทนสีของแสงจากหลอดไฟชนิดต่างๆ

| โทนสีของแสง (Color Group) | อุณหภูมิสีของแสง (K) | ตัวอย่างหลอดไฟฟ้า |
|---|---|---|
| สีหลอดไส้ (Incandescent:1) | ประมาณ 2,700 | หลอดอินแคนเดสเซนต์ |
| สีขาวเหลือง (Warm White: WW) | ประมาณ 3,000 | หลอดทังสเตนฮาโลเจน |
| ขาว (White: W) | ประมาณ 3,500 | หลอดไอปรอทความดันสูง |
| สีขาวเย็น (Cool White: CW) | ประมาณ 4,000 | หลอดเมทัลฮาไลด |
| สีฟ้า (Daylight: D) | ประมาณ 5,000 – 6,000 | แสงจากดวงอาทิตย |
| สีขาวฟ้าเย็น (Cool Daylight: CD) | ประมาณ 6,500 ขึ้นไป | หลอดฟลูออเรสเซนต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดอุณหภูมิสีของแสงต่างจากการวัดอุณหภูมิความร้อน โดยหลอดไฟที่มี อุณหภูมิสีดำจะให้โทนสีอุ่น ส่วนหลอดที่มีอุณหภูมิสีสูงจะให้โทนสีเย็น ซึ่งจะตรงข้ามกับอุณหภูมิความ ร้อน การเลือกใช้แสงที่มีอุณหภูมิสีต่างกันจะทำให้ได้บรรยากาศต่างกันไปด้วย โทนสีอุ่นจะให้ ความรู้สึกสบาย ๆ ส่วนโทนสีเย็นจะให้ความรู้สึกกระฉับกระเฉงจึงเหมาะที่จะใช้ในโรงงานมากกว่า

2) ดัชนีเทียบสี (Color Rendering Index, $R_a$ หรือ CRI) เป็นค่าที่บอกว่าแสงนั้นทำให้ เห็นสีของวัตถุได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด ค่า $R_a$ ไม่มีหน่วยมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยกำหนดให้ แสงอาทิตย์มีค่า $R_a$ = 100 เพราะแสงอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมครบทุกสีและมีความเข้มของ แต่ละสีในระดับที่สม่ำเสมอ ส่วนหลอดไส้แม้มีค่าอุณหภูมิสีต่ำ แต่ก็ให้แสงที่มีสเปกตรัมครบทุกสีจึงมี ค่า Ra = 100 เช่นกัน ขณะที่แหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์แม้ว่ามีอุณหภูมิสีที่ ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ก็ไม่ใช่จะมีสเปกตรัมครบทุกสีซึ่งหมายความว่าสีของวัตถุที่อยู่ภายใต้แสงนั้น จะเพี้ยนไปจากความจริง จึงมีค่า $R_a$ ต่ำกว่า 100 ส่วนแสงที่เป็นแบบความยาวคลื่นเดี่ยว ซึ่งแยกสี ไม่ได้เลยจะมีค่า $R_a$ = 0

**2.3.2 การกำเนิดของแสง**

แสงอาจจะได้จากธรรมชาติ (Daylight) หรือแหล่งกำเนิดที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น (Artificial Light) โดยที่แสงจากแหล่งกำเนิดทั้งสองนี้ก็ยังมีการกำเนิดของแสงที่แตกต่างกันได้หลาย วิธีดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1) แสงธรรมชาติดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติแสงจากดวงอาทิตย์ที่เห็นตามปกติเป็นสีขาว เกิดจากการรวมตัวกันของแสงครบทุกแถบสีหากจำแนกตามค่าพลังงานจะได้เส้นกราฟ (สเปกตรัม) ที่มีความต่อเนื่องและมีระดับที่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังประกอบด้วย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงที่ตามองไม่เห็น ได้แก่ รังสีอัลตร้าไวโอเลต (รังสีเหนือม่วง) ที่ความยาวคลื่นสั้นกว่า 380 นาโนเมตรและรังสีอินฟราเรด (รังสีใต้แดง) ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 760 นาโนเมตร

2) แสงที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น คือแสงที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า ซึ่งมีมากมายหลายชนิดแต่ หลักการให้กำเนิดแสงของหลอดไฟฟ้านั้นมีอยู่เพียง 3 วิธีคือ

2.1 อินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) เป็นการให้กำเนิดแสงด้วยวิธีการเผาวัตถุให้ ร้อนเช่น การเผาไส้เทียนไข การเผาไส้ทังสเตนของหลอดไส้ธรรมดา การเปล่งแสงวิธีนี้จะให้สเปกตรัม ของแสงครบทุกสีและมีความต่อเนื่อง (Continuous Spectral Power Distribution) แต่ทว่าค่าของพลังงานของแสงในช่วงความยาวคลื่นโทนสีแดงจะมากกว่าโทนสีน้ำเงิน ตัวอย่างหลอดที่ใช้หลักการนี้ คือ หลอดไส้ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นหลอดจำปา หลอดปิงปอง หลอดสะท้อนแสงชนิด กระจกบาง (Spotlight) และกระจกหนา (PAR) หลอดลิเนีย และหลอดทังสเตนฮาโลเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลูมิเนสเซนต์ (Luminescence) เป็นการให้กำเนิดแสงด้วยการกระตุ้นอะตอม ของก๊าซที่บรรจุภายในหลอดให้เกิดพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งที่มองเห็นและ มองไม่เห็น หลอดไฟฟ้าที่ใช้หลักการนี้เรียกว่า หลอดก๊าซดิสชาร์จ (Gas Discharge Lamp) แสงที่ได้ จากการกระตุ้นอะตอมก๊าซนี้มีไม่ครบทุกสีเนื่องจากสเปกตรัมมีลักษณะเป็นช่วง ๆ (Line or Band Spectrum) จึงมีความไม่ต่อเนื่อง (Discrete Spectral Power Distribution) ส่วนจะมีแสงสีใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซที่บรรจุภายในหลอดนั้นสร้างแถบสีของแสงใดมากที่สุด เช่น หลอดที่บรรจุก๊าซเมอร์คิวรี่ (ไอปรอท) เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์จะให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงของแสงอัลตร้าไวโอเลต (UV) ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถมองเห็น จึงต้องมีการเคลือบผิวด้านในของหลอดชนิดนี้ด้วยผงฟอสเฟอร์เพื่อเปลี่ยนแสง UV ให้เป็นแสงที่ตามองเห็น

2.3 อินดักชั่น (Induction) เป็นการพัฒนาการให้กำเนิดแสง โดยใช้หลักการของ การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) กับหลักการของก๊าซดิสชาร์จ (Gas Discharge) ผสมกัน ในขั้นแรกจะต้องเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวถ่ายพลังงานให้กับอะตอมของไอปรอทที่บรรจุภายในหลอด เมื่ออะตอมของก๊าซถูกกระตุ้นจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงอัลตร้าไวโอเลต และเมื่อผ่านสารเคลือบผิวด้านในของหลอดจะเกิดเรืองออกมาเป็นแสงขาวที่เรามองเห็นได้ดังนั้นสเปกตรัมของหลอดที่ใช้หลักการ อินดักชั่นจึงไม่มีความต่อเนื่อง เช่นเดียวกับหลอดก๊าซดิสชาร์จที่ใช้หลักการลูมิเนสเซนต์ตัวอย่าง หลอดที่ใช้หลักการนี้คือ หลอดคิวแอล (QL)

**2.3.3 หน่วยที่ใช้ในการวัดแสงสว่าง**

1) ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux : Ø หรือ F) เป็นปริมาณแสงทั้งหมดที่ส่อง ออกจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งก็คือหลอดไฟฟ้ามีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen : $l_m$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ ปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ที่ห่างจากจุดกำเนิดแสง 1 แคนเดลาเป็นระยะทาง 1 หน่วย

2) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity : I) เป็นความเข้มของแสงที่ส่อง ออกมาจากแหล่งกำเนิดในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง บางครั้งเรียกว่า กำลังส่องสว่าง (Candlepower) มักใช้แสดงความเข้มของแสงที่มุมต่าง ๆ ของดวงโคม โดยทั่วไปจะวัดเป็นจำนวนเท่าของความเข้มที่ ได้จากเทียนไข 1 เล่ม จึงมีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela : cd)

3) ความสว่าง (Illuminance: E) เป็นปริมาณแสงที่ตกกระทบพื้นผิว ต่อพื้นที่ 1 ตร.ม. โดยทั่วไปอาจเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting level) จึงเป็นค่าที่บ่งบอกว่าพื้นที่นั้น ๆ ได้รับแสง 23 สว่างเพียงพอหรือไม่มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ (Lux) นั่นเอง ส่วนหน่วยเดิมวัดเป็น ลูเมนต่อตารางฟุต หรือฟุตแคนเดิล (Foot candle) มีค่าเท่ากับ 10.76 ลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความส่องสว่าง (Luminance : L) เป็นค่าที่บอกปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจาก พื้นผิวใด ๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง บางครั้งจึงอาจเรียกว่า ความจ้า (Brightness) เป็นที่นิยมใช้ใน การกำหนดความสว่างของไฟถนน ซึ่งต้องการความปลอดภัยสูงสุด หากกำหนดแต่ความสว่างจะไม่เพียงพอ เพราะความสว่างวัดเพียงปริมาณแสงที่ตกลงพื้นถนน ในขณะที่ความส่องสว่างหรือ Luminance นี้จะวัดปริมาณแสงที่สะท้อนจากพื้นถนนมาเข้าตาผู้ขับขี่ด้วย จึงบอกได้ว่าเวลาขับรถเรามองเห็นสิ่งต่าง ๆ บนพื้นถนนได้ดีเพียงไร ความส่องสว่างมีหน่วยเป็น cd/$m^2$) ประสิทธิผลการส่องสว่าง (Light Efficacy) คือ อัตราส่วนฟลักซ์การส่องสว่างต่อ กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์

2.3.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไป

1. บัลลาสต์ เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ ควบคุมแหล่งจ่ายพลังงานให้ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในหลอดไฟฟ้ามีค่าสม่ำเสมอ เหมาะสมกับหลอดแต่ละประเภท แต่ละชนิด และแต่ละขนาด ซึ่งเป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับหลอดก๊าซดิสชาร์จ เพราะเมื่อหลอดไฟผ่านขั้นตอนการ จุดติดแล้วนั้น ค่าความต้านทานของหลอดจะลดลงอย่างมาก จึงต้องนำบัลลาสต์มาต่ออนุกรมในวงจร เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานมิให้กระแสไฟฟ้าไหลเกินพิกัดจนไส้หลอดขาด การใช้งานร่วมกันระหว่าง หลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์จะต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้งานร่วมกันได้หากใช้งานผิด

แรงดันไฟฟ้า (Line Volt) คือ ค่าแรงดันที่บัลลาสต์ถูกออกแบบไว้หากแรงดันที่ ป้อนหรือความถี่ผิดไปจะส่งผลกระทบอย่างมากแก่หลอดไฟฟ้าจนอาจเสียหายได้

แรงดันไฟฟ้าตก (Voltage Dip) คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าตกลงในช่วงสั้น ๆ ซึ่งมีผลทำ ให้ความสว่างของหลอดไฟฟ้าลดลงเล็กน้อย แต่บัลลาสต์ยังสามารถส่งกระแสให้หลอดติดอยู่ได้

ตัวประกอบกำลัง (Power Factor, PF) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังวัตต์ต่อผลคูณ ของค่าแรงดันไฟฟ้ากับค่ากระแส บัลลาสต์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะดึงกระแสเข้ามาก ทำให้ขนาด ของสายไฟฟ้า ฟิวส์สวิตช์และเบรกเกอร์อาจรวมถึงหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ต้องใหญ่ขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มทำงาน (Starting Current) ก็มีผลเช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพของบัลลาสต์คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า ต่อ กำลังไฟฟ้ารวม ซึ่งรวมความสูญเสียในตัวบัลลาสต์ (Ballast Losses)

ตัวประกอบยอดคลื่นกระแส (Current Crest Factor) คือ อัตราส่วนระหว่าง ค่าสูงสุด (Peak) ต่อค่า RMS (Root-Mean-Square Value) ของกระแส ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปคลื่นที่ ออกมาจากบัลลาสต์ หากมีค่าสูงเกินไปจะส่งผลต่อความสว่างของหลอดไฟฟ้า และทำให้หลอดไฟฟ้า เสื่อมเร็วขึ้น

2. โคมไฟ โคมไฟนอกจากทำหน้าที่ยึดหลอดและอุปกรณ์ประกอบ เช่น บัลลาสต์แล้ว ยังมีหน้าที่สำคัญคือ ควบคุมทิศทางแสงให้กระจายไปตกบนพื้นที่ทำงานที่เราต้องการ นอกจากนี้ยัง ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันอันตรายซึ่งอาจเกิดขึ้นกับหลอดไฟฟ้าได้อีกด้วย ปัจจุบันมีผู้ผลิตโคมไฟแบบต่าง ๆ มากมาย วัสดุที่ใช้ทำโคมไฟเพื่อกรองแสงไม่ให้จ้าเกินไปก็มีหลายชนิด ในการเลือกใช้งานโคมไฟ จึงไม่ ควรเลือกโดยคำนึงถึงแต่ความสวยงามเพียงอย่างเดียว คุณสมบัติสำคัญที่ต้องพิจารณาได้แก่

ประสิทธิภาพของโคมไฟ คือ อัตราส่วนระหว่างลูเมนรวมที่ออกมาจากโคมไฟต่อ ลูเมนรวมที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้า โคมไฟที่มีประสิทธิภาพสูงจะไม่ดูดกลืนหรือกักแสงไว้มาก

สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization, CU) คือ อัตราส่วน ระหว่างค่าลูเมนรวมที่ไปตกถึงพื้นที่ทำงานต่อลูเมนรวมที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้า จึงเปรียบเสมือนได้ รวมค่าประสิทธิภาพโคมไฟเข้ากับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น คือ ความสูงและสัดส่วนของ ห้องหรือ อัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio) ตลอดจนค่าการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง และพื้นไว้ด้วยแล้ว

ความเสื่อมจากโคมไฟสกปรก (Luminaire Dirt Depreciation, LDD) คือ การที่ ปริมาณแสงลดลงตามระยะเวลาที่ใช้โคมไฟ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสะอาดของพื้นที่ และลักษณะของโคม ไฟแต่ละชนิด

3. หลอดไฟฟ้า หลอดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงสว่าง เพื่อให้ความสว่างในยามค่ำคืน ในที่มืด หรือบริเวณที่ต้องการแสงสว่างเพิ่มเติม ปัจจุบันมีหลอดไฟฟ้า ที่มีคุณสมบัติต่างกันมากมาย เราจึงจำเป็นต้องศึกษาให้ทราบถึงหลักการเลือกใช้หลอดไฟฟ้าให้เหมาะสำหรับงานแต่ละประเภท โดยปัจจัยในการพิจารณาสำคัญของหลอดไฟฟ้าที่ต้องพิจารณาได้แก่

ประสิทธิภาพแสง (Luminous Efficacy) สำหรับหลอดไฟฟ้า คือ อัตราส่วนระหว่าง ปริมาณแสงที่หลอดเปล่งออกมาได้หรือ ค่าฟลักซ์การส่องสว่างเริ่มต้น (หลังทำงาน 100 ชั่วโมง) ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ซึ่งอาจคิดเฉพาะกำลังวัตต์ของหลอดก็ได้แต่ที่ถูกต้องควรคิดรวมบัลลาสต์ด้วย อายุใช้งาน (Lamp Mortality) หมายถึงระยะเวลาโดยเฉลี่ย ซึ่งเมื่อใช้งานหลอด ไฟฟ้าครบระยะเวลานั้นแล้ว จะคงเหลือหลอดไฟฟ้าที่ยังทำงานอยู่ครึ่งหนึ่ง

ความเสื่อมของหลอด (Lamp Lumen Depreciation, LLD) คือ อัตราส่วนปริมาณ แสงที่เหลืออยู่เมื่อหลอดไฟฟ้าครบอายุใช้งาน เทียบกับค่าฟลักซ์การส่องสว่างเริ่มต้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิด

**2.4 เทคโนโลยีให้ความสว่าง**

2.4.1 หลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนท์

หลอดไส้หรืออินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) เป็นหลอดชนิดที่ใช้ไส้หลอดเป็นตัวเปล่งแสง เมื่อไส้หลอดขาดจะไม่มีแสงสว่างปรากฏออกมา หลอดชนิดนี้เป็นหลอดแก้ว (Bulb) ไส้หลอดที่เปล่งแสงสว่างออกมาทำด้วยทังสเตน (Tungsten Filament) ภายในหลอดบรรจุแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนและแก๊สอาร์กอน (เป็นแก๊สเฉื่อย ) เข้าไปแทนที่หลังจากดูดอากาศจากภายในหลอดออกหมด แก๊สเฉื่อยที่บรรจุเข้าไปนี้จะทำให้หลอดมีคุณสมบัติการใช้งานนานขึ้น คือมีอายุการใช้งานนานประมาณ 1,000 ชั่วโมงถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย โทมันส เอดิสันมานานกว่า 125 ปี เป็นหลอดที่มีการใช้งานอยู่ตั้งแต่ช่วงแรกๆ ของการให้แสงสว่างในปัจจุบันมีการใช้งานน้อยลง หลอดอินแคนเดสเซนท์เป็นหลอดที่มีราคาต่ำที่สุด แต่มีอัตราการกินพลังงานไฟฟ้าสูงมากเมื่อเทียบกับปริมาณความสว่างที่จ่ายออกมา เทคโลยีหลอดอินแคนเดสเซนท์สร้างแสงสว่างโดยการให้ความร้อนแก่ใยเหล็กที่อยู่ภายในแก้วหลอด อย่างไรก็ตามพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 90 เปอเซ็นต์ถูกใช้ไปกับพลังงานความร้อน และอีก 10 เปอเซ็นต์ ใช้เพื่อสร้างแสงสว่าง

โครงสร้างหลอดไส้

1.) ไส้หลอด ไส้หลอดของหลอดไส้ทำด้วยทังสเตน (Tungsten) หรือโลหะผสมระหว่างทังสเตนและออสเมียม (Osmium) ที่เรียกว่า ออสแรม (Osram) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสม คือ สามารถรีดเป็นเส้นเล็กๆ ทนแรงดึงและมีจุดหลอมเหลวสูง และผลของความร้อนไม่ทำให้ความต้านทานเปลี่ยนแปลงมากนัก จุดที่สำคัญคือ สามารถเผาให้สว่างใกล้จุดหลอมละลายได้ (ประมาณ 3,400 c ) โดยมีการระเหิดน้อย

2.) กระเปาะแก้ว กระเปาะแก้ว โดยทั่วไปทำด้วยแก้วใสบาง แต่มีบางชนิดทำด้วยแก้วหนาเพื่อให้ทนความร้อนสูง เช่น หลอดภาพในเครื่องฉายต่างๆ ลักษณะภายนอกของหลอดไฟสามารถ ทำให้มีรูปร่างลักษณะ ต่าง ๆ กันได้ตามลักษณะการใช้งาน สำหรับหลอมหลอดแก้วบางจะมีการใช้น้ำยาเคมีหรือกรดเติมลงในหลอด หรืออาจเคลือบผิวด้านในของกระเปาะด้วยซิลิกาสีขาว เพื่อให้หลอดกระจายแสงได้ดี มีการดูดซึมแสงน้อย

3.) ก๊าซเฉื่อย หลังจากสูบเอาอากาศภายในกระเปาะแก้วออกหมดแล้ว จะบรรจุก๊าซเฉื่อย เช่น คริปตอน (Krypton) อาร์กอน (Argon) หรือไนโตรเจน (Nitrogen) เข้าไปในกระเปาะแก้วก๊าซเหล่านี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับไส้หลอด และความดันของก๊าซยังช่วยลดการระเหิดของไส้หลอดได้อีกด้วย ซึ่งเป็นการลดเขม่า (เกิดจากอนุภาคของทังสเตน) ที่กระเปาะแก้ว ทำให้หลอดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ก๊าซเฉื่อยยังช่วยลดการแผ่รังสีความร้อนของไส้หลอดได้อีกด้วย ดังนั้นหลอดที่ บรรจุก๊าซเฉื่อยจึงสามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ และให้กำเนิดแสงสีขาวได้มากกว่าหลอด สุญญากาศ

4.) ขั้วหลอด ขั้วหลอดมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ ช่วยยึดหลอดไว้ในตัวยึดขั้วหลอด สำหรับการต่อเชื่อมวงจรไฟฟ้า และทำหน้าที่กระจายไฟฟ้าไปจ่ายให้กับไส้หลอด ขั้วหลอดที่นิยม ใช้มี 2 ลักษณะ คือ ขั้วหลอดแบบเขี้ยว และขั้วหลอดแบบเกลียว

ก. ขั้วหลอดแบบเขี้ยว ที่ขั้วหลอดมีแกนโลหะยื่นออกมา 2 ด้าน เพื่อเป็นตัว ล็อคติดกับฐานหลอดด้วยแรงสปริง ซึ่งติดอยู่ที่ฐานหลอด ทำให้ถอดตรวจซ่อมและเปลี่ยนหลอดได้ ง่าย รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดแบบใช้เขี้ยวจึงถูกนำมาใช้กับงานที่มีการสั่นสะเทือนอยู่เสมอเช่น หลอดไฟ ยานพาหนะ และยังใช้เป็นที่แพร่หลายในที่พักอาศัย

ข. ขั้วหลอมแบบเกลียวขั้วหลอดแบบนี้ทำเป็นเกลียว (แบบมน) สำหรับ หมุนยึดติดกับฐานหลอด โดยมีใช้ตั้งแต่ขนาดเล็ก ๆ เช่น หลอดไฟฉาย จนถึงขนาดใหญ่ๆ เช่น หลอดสปอร์ตไลท์ (Spotlight) โดยแบ่งตามขนาดของหลอด (กำลังไฟฟ้า) ได้ 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ แบบ Medium screw-shell ใช้สำหรับหลอดที่มีกำลังไม่เกิน 300 วัตต์ แบบ Screw-shell ใช้สำหรับหลอดที่มีกำลังตั้งแต่ 300 วัตต์ – 1,500วัตต์ แบบ Mogul bi-post base ใช้สำหรับหลอดที่มีกำลังตั้งแต่ 1,500วัตต์ขึ้นไป

คุณสมบัติของหลอดไส้

1) แสงที่ได้รับจะมีสีค่อนข้างแดง ให้ผลทางด้านการมองเห็นวัตถุอื่น ๆ ค่อนข้างต่ำ

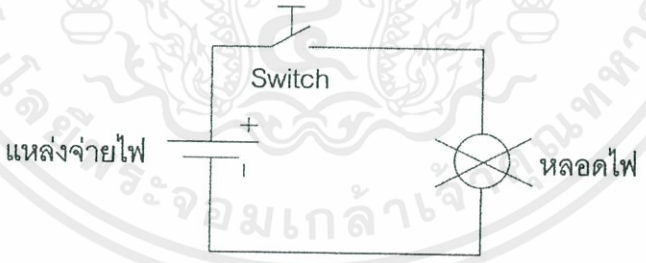
2) ขนาดกำลังไฟฟ้าของหลอดมีตั้งแต่ 1-1,500 วัตต์

3) อายุการใช้งานของหลอดขนาด 1-300 วัตต์ ประมาณ 750 ชม. และหลอด 300-1,500 วัตต์ ประมาณ 1,000 ชม.

4) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหลอดมีไส้ถูกกว่าหลอดไฟฟ้าแบบอื่น ๆ

5) เหมาะนำไปใช้ในงานที่ต้องการความสว่างน้อยเป็นจุด ๆ เช่น ห้องเก็บของ เล็ก หรือไฟแสดง และไฟประดับ หรือในงานที่ต้องการรังสีความร้อน เนื่องจากไส้หลอดเมื่อจุดติดแล้วจะให้ความร้อนค่อนข้างสูง ถ้ามีกำลังไฟฟ้าสูง ๆ เช่น ใช้ในห้องอบสี เป็นต้น

วงจรการต่อใช้งาน




**รูปที่ 2.2** วงจรต่อใช้งานหลอดไส้

2.4.2 หลอด High Intensity Discharge (HID)

เป็นหลอดที่ใช้หลักการการปล่อยประจุของแก๊ส ซึ่งจะประกอบไปด้วยหลอด 3 ชนิด ได้แก่

1.หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ (Low-pressure sodium ,LPS)

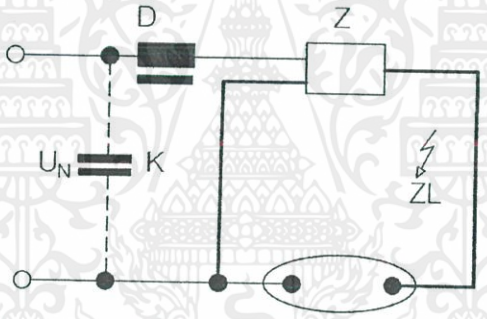
เป็นหลอดไฟฟ้าที่ทำงานที่ความดันภายในหลอดต่ำมาก หลอดไฟชนิดนี้สามารถเปล่งแสงท่มีคลื่นความยาวเดียวออกมา แสงดังกล่าวอยู่ในย่านของแสงสีเหลือง มีความยาวอยู่ระหว่าง 589.0 – 589.5 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ใกล้ความยาว 555 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงที่ตาคนเรารับรู้ได้ไวที่สุด ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความปลอดภัยหรือต้องการความชัดเจน หลอดโซเดียมความดันไอต่ำเป็นหลอดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในบรรดาหลอดทั้งหมดประมาณ 120 – 200 lumen/wat แต่แสงที่ได้เป็นสีเหลือง และดัชนีความถูกต้องของเสงต่ำมากจึงถูกจำกัดใช้ในการให้ความสว่างภายนอกอาคารที่ต้องการการเปิดใช้เป็นเวลานานๆ อายุการใชงานจะอยู่ที่ประมาณ 18000 ชั่วโมง

หลอดชนิดนี้จำเป็นจะต้องใช้บัลลาสต์ในการจุดหลอดให้ติดสว่าง ระยะเวลาในการจุดหลอดให้ติดสว่างเต็มที่จะค่อนข้างใช้เวลานาน คือ 10-15 นาที และยังต้องใช้เวลาในการ restart อีกด้วย ซึ่งบัลลาสต์ที่ใช้ร่วมกับหลอดจะมีขนาดใหญ่และมักเป็นชนิด ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง คุณลักษณะทางแสงสีแสงที่เกิดจากหลอดชนิดนี้จะเป็นแสงสีเดียว ( monochromatic ) ซึ่งจะมีการกระจายพลังงานทางสเปกตรัม จะมีลักษณะเป็น line spectrum 2 เส้นคือ 589 นาโนเมตร ( ประมาณ 95 % ของ output) และ 586 นาเมตร (ประมาณ 5% ของ output ) ทำให้สีของวัตถุเพี้ยนไปจากเดิมมาก ยกเว้นสีเหลือง

วงจรต่อใช้งาน




**รูปที่ 2.3** วงจรต่อใช้งานหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

2.4.3 หลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium , HPS)

เป็นหลอดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมาใช้ในงานที่ต้องการปริมาณแสงสว่างมาก สีของแสงจะเป็นสีเหลืองทอง ตามคุณสมบัติของโซเดียม เช่นเดียวกับหลอดโซเดียมความดันต่ำ แต่หลอดโซเดียมความดันสูงจะมีค่า CRI สูงกว่าหลอดโซเดียมความดันต่ำหลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาหลอดดีสชาร์จด้วยกันเนื่องจากมันให้ประสิทธิภาพมากถึง 140 ลูเมนต่อวัตต์ หลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดFluorescent และ เมทัลฮาไลด์ถึง 50% แลมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดแสงจันทร์ถึง 100% และสูงกว่าหลอด Incandescent ถึง 600%

กระเปาะแก้วด้านนอกทำหน้าที่เช่นเดียวกันกับหลอดแสงจันทร์ (หลอดไอปรอทความดันสูง) และหลอดเมทัลฮาไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระเปาะแก้วด้านใน (หลอดอาร์ก) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหลอด 2 แบบแรก จึงทำงานที่อุณหภูมิสูงและเนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็กจึงไม่มีขั้วอิเล็กโตรดช่วยในการจุดอยู่ภายในหลอด จะมีเฉพาะขั้วอิเล็กโตรดหลักเท่านั้น ภายในหลอดบรรจุด้วยโซเดียมเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีก๊าซซีนอนและปรอทรวมอยู่ด้วย หลอดอาร์กจะทำมาจากเซรามิก เนื่องมาจากความร้อนและความดันจากการคายประจุของโซเดียมสูงมาก นอกจากนี้ภายในหลอดอาร์กประกอบไปด้วยก๊าซซีนอนปรอท และโซเดียมปะปนอยู่และในหลอดโซเดียมความดันสูงนี้จะไม่มีสตาร์ทติ้งอิเลคโทรดและสตาร์ทติ้งรีซิสเตอร อยู่เลย

คุณสมบัติของก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดอาร์กมีดังนี้

1. ก๊าซซีนอน เป็นก๊าซเฉื่อย ทำหน้าที่ช่วยในการแตกตัวของก๊าซโซเดียมให้รวดเร็วขึ้นจึงทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในหลอดอาร์กมากขึ้น โดยจะมีค่าความดันภายในหลอดอาร์กประมาณ 200 มิลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นที่มาของการเรียกหลอดไฟฟ้านี้ว่า หลอดโซเดียมความดันสูง

2. ไอปรอทเป็นตัวเปล่งแสงสีน้ำเงินเขียวออกมา และเมื่อไปผสมกับแสงที่ได้จากโซเดียมจะได้แสงสีธรรมชาติแต่ปริมาณแสงสี เหลืองและแสงสีส้มจะมีมากกว่าแสงสีอื่นๆ

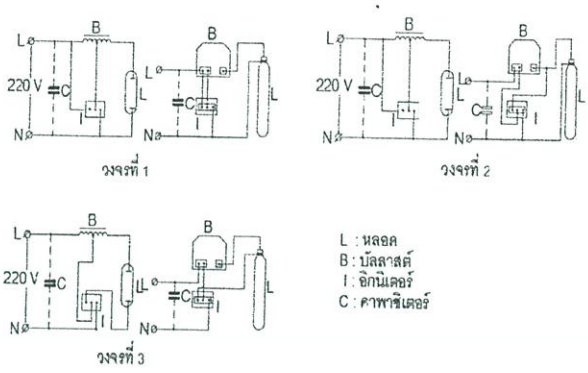
3. สถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิปกติแต่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวและเปล่งแสงสีเหลืองสดออกมา เพียงสีเดียว เพื่อจะไปผสมกับแสงสีอื่นที่เกิดจากการแตกตัวของก๊าซชนิดอื่นต่อไป

หลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันไอสูง

เนื่องจากหลอดชนิดนี้ไม่มีขั้วอิเล็กโตรดช่วยในการจุดหลอด ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่จุดหลอดสูงมากตั้งแต่ 2500-5000V จึงต้องใช้อุปกรณ์สร้างพัลส์แรงสูงช่วยรวมกับบัลลาสต์ เพื่อทำให้ก๊าซซีนอนเกิดการแตกตัวเปล่งแสง โดยอาศัยตัวจุดหลอด (Ignitor) จะเป็นตัวสร้างพัลส์ที่มีความถี่สูงเพื่อส่งไปให้บัลลาสต์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง แต่จะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นและรวดเร็วมาก (ประมาณ 1 ไมโครวินาที) โดยก๊าซซีนอนจะแตกตัวทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ก๊าซโซเดียมและปรอทแตกตัวตาม ซึ่งทำให้หลอดสว่างขึ้นเรื่อยๆ จนสว่างจ้าในที่สุด เมื่อตอนเริ่มแรกจะเห็นแสงสีแดง แล้วค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเหลืองทองในที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากโซเดียม เริ่มเกิดการแตกตัวขึ้นภายในหลอดอาร์ก หลอดชนิดนี้จะมีช่วงเวลาอุ่นไส้หลอด (Warm up Period) จนกระทั่งสว่างเต็มที่ใช้เวลาประมาณ 3-4 นาทีและเวลาคืนตัว 1 นาที

วงจรต่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.4** วงจรต่อใช้งาน

2.4.4 หลอดแสงจันทร์หรือหลอดไฟไอปรอท(Mercury Vapor Lamp)

เป็นหลอดความดันไอโซเดียมความดันสูง มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 12,000-24,000 ชั่วโมง ให้แสงสว่างท 40 ถึง 60 ลูเมนต์ต่อวัตต์ มีขนาดตั้งแต่ 40 จนถึง 1,000 วัตต์และมีทั้งชนิดที่ใชกับบัลลาสต์และชนิดที่ไม่ ใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานหากเป็นหลอดที่ใช้บลลาสต์ จะมีอายุประมาณ 24,000 ชั่วโมง แต่หากเป็นหลอดที่ไม่ใช้บลลาสต์ อายุการใช้งานจะสั้นกว่า มีอายุการใช้งานประมาณ 16,000 ชั่วโมง

โครงสร้างหลอด

1. ขั้วหลอด (Base) เป็นสวนที่ต่อกับวงจรไฟฟ้า โดยทั่วไปจะเป็นแบบเกลียวและมี 2 ขนาด คิอ E27 และ E40

1.1 กระเปาะแกว้ด้านนอก (Outer Buld) ทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มป้องกันหลอดแก้วชั้นในไม่ให้สัมผัสกับอากาศภายนอก หลอดแก้วทั้งสองถูกกั้นด้วย ไนโตรเจนหรือสญญากาศ และยังทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนและป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตที่เกิดจากหลอดอาร์กภายในหลอด และรักษาอุณหภูมิภายในหลอดให้คงที่ ตลอดจนยังสามารถเคลือบสารเรืองแสง เพื่อให้มีการเปลี่ยนสีของแสงสว่างได้อีกด้วย หรือฉาบด้วยอลูมิเนียมบริสุทธิ์เพื่อที่ให้หลอดมีการสะท้อนแสงได้เป็นต้น

1.2 หลอดอาร์ก (Arc Tube) เป็นหลอดแก้วด้านในของหลอด มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงปิดหัวท้ายและทำมาจากแร่ควอตซ์ซึ่งเป็นแร่หินที่มีคุณสมบัติทนอุณหภูมิได้สูงมาก ที่ปลายของกระเปาะแก้วด้านในด้านหนึ่งติดกับ อิเล็กโตรดหลัก (Main Electrode) และอีกด้านหนึ่งจะมีตัวต้านทานจุดติดต่ออนุกรมกับอิเล็กโตรดหลัก การต่อเชื่อมวงจรจะเชื่อมต่อกันด้วยก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในกระเปาะแก้ว ซึ่งก๊าซดังกล่าวได้แก่ ก๊าซอาร์กอน และไอปรอท

1.3 อิเล็กโตรด (Electrode) ในหลอดแสงจันทร์จะมีอิเล็กโตรด 2 ด้านคือ

- อิเล็กโตรดหลัก (Main Electrode) จะทำงานอยู่ตลอดเวลาและทำมาจากวัสดุพวกทังสเตน ซึ่งทำเป็นขดลวดเคลือบด้วยสารแบเรียมออกไซด์หรือแบบอัดเรียบพันด้วยลวดทังสเตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อิเล็กโตรดช่วยในการจุดติด (Starting Electrode) ทำหน้าที่เป็นอิเลกโตรดในช่วงเริ่มต้นของการสตาร์ทหลอด

1.4 ตัวต้านทานในการจุดติด (Starting Resistor) จะทำงานในช่วงจุดไส้หลอด เพื่อทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าในตอนเริ่มต้นจุดไส้หลอด โดยปกติจะมีความต้านทานประมาณ 50,000- 60,000 โอห์ม

1.5 ตัวยึดโครงสร้างภายในหลอดไฟ (Support) ใช้ยึดตัวกระเปาะแก้วด้านใน (Arc Tube) กับขั้วหลอด ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังขั้วอิเล็กโตรด บางหลอดจะมี สปริงติดอยู่เพื่อให้มีการยืดหยุ่นเมื่อเกิดการกระแทกในสภาวะการใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ของหลอดตลอดเวลา

หลักการทำงานของหลอด

เมื่อเริ่มป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับหลอด แรงดันไฟฟ้าจะตกคร่อมที่ขั้วอิเลคโทรดหลัก (MainElectrode) และอิเลคโทรดที่ใช้สำหรบการสตาร์ท (Starting Electrode) ซึ่งอยู่ที่ปลายด้านล่างของหลอด

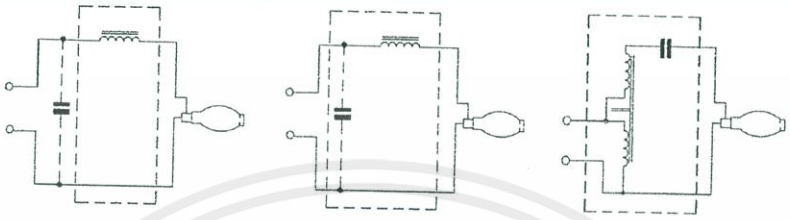
ก่อนทำให้เกิดการอาร์กของก๊าซอาร์กอนและเกิดความร้อนขึ้นตามลำดับ ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ไอปรอทเกิดการแตกตัวออก ความต้านทานลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งแรงดันของบัลลาสต์สามารถเอาชนะความต้านทานระหว่างปลายอิเลคโทรดหลักได้กระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลจากอิเล็คโทรดหลักข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่งซึ่งอยู่ตรงข้ามได้ จากนั้นไอของปรอทจะเริ่มแตกตัวมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ความต้านทานของหลอดจะมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ Starting resistor และหลังจากนี้ไปจะไม่มี ไฟฟ้าไหลผ่านจากอิเล็คโทรดหลักที่ Staring electrode อีกเลย ระยะเวลาช่วงนี้นับตั้งแต่เริ่มจ่ายแรงดันให้กับหลอด จนถึงช่วงที่หลอดเปล่งแสงออกมาได้ถึง 80% ของความสวางทั้งหมดเรียกช่วงเวลานี้ว่า “ช่วงอุ่นตัว” (Warm up Period) ซึ่งกินเวลาประมาณ 3-5 นาที (เวลาอุ่นไส้หลอด = เมื่อเปิดไฟแล้วแสงที่ออกมาจากหลอดยังไม่สว่างเต็มที่ ต้องใช้เวลาตามชนิดของหลอดระยะหนึ่ง) หากไฟฟ้าเกิดดับลงหลอดแสงจันทร์จะไม่สามารถจุดติดได้ทันทีต้องรอเวลาเพื่อให้ความดันและอุณหภูมิภายในหลอดลดลงและรอให้ก๊าซต่างๆ ไอปรอทที่เกิดการแตกตัวกลับมารวมกันเป็นปกติเหมือนตอนเริ่มสตาร์ทจึงจะสามารถสตาร์ทหลอดใหม่ ช่วงเวลานี้เรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มสตาร์ทใหม่ (Restarting Time) หรือช่วงเวลาคืนตัว (Restrike Time)

หลอดแก้วชั้นนอกอาจจะเป็นหลอดแก้วชนิดใส หรืออาจจะเคลือบสารเรืองแสงด้านในก็ได้ คุณสมบัติทางไฟฟ้าและลักษณะการทำงานไม่ได้แตกต่างกันเลยแต่สิ่งที่จะแตกต่างกันออกไปคือรูปแบบของการกระจายแสง หรือสีที่ออกมา จะแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่ภายใน จะเปลี่ยนรังสีอุลตราไวโอเลตไปเป็นแสงสีแดง จะให้แสงและสีที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดแสงจันทร์ที่นิยมใช้กันอีกชนิดหนึ่งก็คือ หลอดแสงจันทร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้บัลลาสต์ สามารถใช้กับฐานขั้วหลอด Incandescent เพื่อเพิ่มความสว่างให้แก่สถานที่นั้น และเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของหลอดให้นานออกไปอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามหลอดแสงจันทร์ประเภทนั้นก็ยังคงมีข้อด้อยคือ ยังคงมีอายุการใช้งานเฉลี่ยสั้นกว่าหลอดแสงจันทร์ ชนิดแรกมาก

วงจรต่อใช้งาน



**รูปที่ 2.5** วงจรต่อใช้งานหลอดไอปรอท

2.4.5หลอดเรืองแสง (Fluorescent tube )

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent tube) หรือเรียก หลอดนีออน (neon lamp) จัดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความส่องสว่างในเวลากลางคืนเพื่อให้เกิดการมองเห็น หรือ เพื่อให้เกิดแสงสี ทั้งใช้งานตามบ้านเรือน และป้ายโฆษณาต่างๆ

หลอดนีออน (neon lamp) เป็นชื่อที่ถูกเรียกในยุคเริ่มแรกในทางวิทยาศาสตร์มาจากคุณสมบัติของก๊าซนีออน (Neon) ที่สามารถเกิดการเรืองแสงได้หลังมีการแตกตัวของนีออน และเกิดการนำไฟฟ้าจนก๊าซร้อนเปล่งแสงออกมาเป็นสีส้มอมแดง

ปัจจุบัน มีการประยุกต์ใช้ก๊าซชนิดอื่นเติมเข้าในหลอดแก้ว อาทิ ปรอท อาร์กอน ฮีเลียม และซีนอน เป็นต้น (ก๊าซแรดอน เป็นก๊าซที่ไม่ถูกนำมาใช้) ซึ่งจะทำให้เกิดการเรืองแสงที่มีสีแตกต่างกันตามชนิดของก๊าซที่เติม ส่วนตัวหลอดมีการพัฒนาจากรูปทรงกลมเป็นทรงกระบอกหรือโค้งงอในลักษณะต่างๆ และมีการฉาบด้านในด้วยผงฟลูออเรสเซนต์ จน เปลี่ยนมาเรียกเป็น หลอดฟลูออเรสเซนต์ เพราะเป็นชนิดหลอดที่นิยมใช้มากที่สุดในครัวเรือนแทนหลอดนีออนดั้งเดิม

หลอดนีออนดั้งเดิม (neon lamp)

หลอดนีออนดั้งเดิม ถูกผลิตออกมาในลักษณะคล้ายกับหลอดไส้ หรือ หลอดตูมกา ที่เป็นรูปลักษณ์ดั้งเดิมมาตั้งแต่สมัยโทมัสอัลวา เอดิสัน โดยลักษณะเด่น คือ ตัวหลอดมีลักษณะทรงกลมที่เป็นหลอดแก้วใส โดยภายในหลอดถูกบรรจุด้วยก๊าซนีออน และตรงกลางเป็นขั้วไฟฟ้าสองขั้ว ก่อนจะจ่ายไฟแรงดันสูงเข้าสู่ขั้วภายในหลอดแก้วจนก๊าซนีออนแตกตัว และตัวไฟเกิดเรืองแสงส่องสว่างเป็นสีส้มอมแดง ทั้งนี้ หลอดนีออนดั้งเดิมสามารถทำให้เกิดแสงได้ด้วยแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 90-220 โวลต์ตามขนาดของหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.6** หลอดนีออนดั้งเดิม (neon lamp)

ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Neon_lamp

ก๊าซนีออน (Neon) มีฐานศัพท์มาจากภาษากรีกว่า นีออส (Neos) ที่มีความหมายว่า ก๊าซใหม่ ซึ่งถูกบรรจุในตารางธาตุลำดับที่ 10 โดยใช้สัญลักษณ์เป็น Ne ก๊าซนีออน เป็นก๊าซเฉื่อยที่พบเพียง 1 ใน 55000 ส่วนของบรรยากาศ ซึ่งถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1898 โดยวิลเลี่ยม แรมซีย์ (William Remsey) และมอร์ริส ทราเวอร์ส (Morris Travers) ส่วนหลอดนีออนถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกโดยจอร์จ จรอส (Georges Claude) ในปี 1910

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent tube)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือเรียก หลอดเรืองแสง หรือ หลอดไฟโฆษณา ซึ่งจะเรียกตามลักษณะสี และรูปแบบการใช้ประโยชน์ อาทิ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีสีสดใสมักเรียกเป็นหลอดเรืองแสง ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ดัดโค้งเป็นตัวอักษร และมีสีสดใสจะเรียกเป็นหลอดไฟโฆษณา ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ให้แสงสว่างตามบ้านเรือนจะเรียก หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดนีออน หลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนมากจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีปลายทั้งสองด้านถูกปิดสนิทด้วยแผ่นอะลูมิเนียม ตัวหลอดทำด้วยแก้วที่ผนังหลอดด้านในถูกฉาบด้วยผงฟลูออเรสเซนต์หรือสารอื่นๆที่ทำให้เกิดแสงสี ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเรืองแสงให้เป็นสีต่างๆ และสูบอากาศออกจนหมด ก่อนจะบรรจุด้วยไอปรอท และก๊าซเฉื่อย

ชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. ชนิดไส้อุ่น (Preheat Lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดไส้อุ่น เป็นชนิดที่พบใช้มากในปัจจุบัน ซึ่งจะติดช้า เพราะจะต้องอุ่นไส้หลอดให้ร้อนก่อน ประกอบด้วยตัวหลอด สตาร์ทเตอร์ และบัลลาสท์ โดยมีบัลลาสท์ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าให้สูง และสตาร์ทเตอร์ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรสำหรับอุ่นไส้หลอด

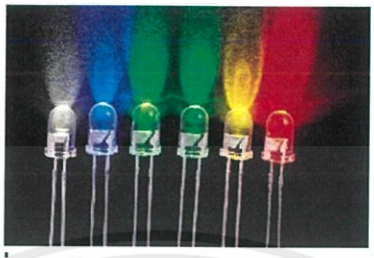
2. ชนิดติดทันที (Instant Lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดติดทันที เป็นชนิดที่ติดเร็วกว่าชนิดแรก แต่ไม่ค่อยนิยมนัก ประกอบด้วยตัวหลอด และบัลลาสท์ ซึ่งจะไม่ใช้สตาร์ทเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชนิดติดเร็ว (Rapid Lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดติดเร็ว หรือเรียก หลอดตะเกียบ เป็นชนิดที่กำลังได้รับความนิยมไม่แพ้ชนิดแรก ซึ่งจะรวมเอาคุณสมบัติของหลอดทั้งสองชนิดแรกมาผสานกัน โดยไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ แต่บัลลาสท์จะมีขดลวดพิเศษอีกชุดเพิ่มเข้ามาที่ช่วยให้ไส้หลอดอุ่นตลอดเวลา



**รูปที่ 2.7** สีของหลอดไฟตามชนิดของก๊าซ

ที่มา : https://nuinmk.wordpress.com/2015/

สีของหลอดไฟตามชนิดของก๊าซ

- ก๊าซนีออน (Neon) : สีส้มอมแดง
- ก๊าซฮีเลี่ยม : สีเหลือง
- แบเรียมซิลิเกต : สีดำ (Black light)
- แมกนีเซียมซิลิเกต : สีดำ (Black light)
- แคลเซียมฮาโลฟอสเฟต : สีขาว
- สตรอนเซียมฮาโลฟอสเฟต : สีขาวอมน้ำเงิน
- ซิงค์ซิลิเกต : สีเขียว
- สตรอนเซียมออโทฟอสเฟต : สีส้ม
- ก๊าซอาร์กอน + ปรอท : สีน้ำเงิน
- ก๊าซคริปตอน : สีแดงเข้ม
- แบเรียมสตอนเทียม : สีดำ (Black light)
- แคดเมียมโบเรต : สีชมพู
- แมกนีเซียมทังสเตน : สีขาวอมน้ำเงิน
- แคลเซียมทังสเตต : สีน้ำเงิน
- อินเรียมออกไซด์ : สีส้ม

กระบวนการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent tube) และหลอดนีออน (neon lamp

การผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือ หลอดนีออน เริ่มต้นจากการนำแก้วมาหลอมเหลว และเป่าให้เป็นรูปทรงต่างๆ ทั้งทรงกลม ทรงกระบอกยาว และโค้งงอตามที่ต้องการ จากนั้น จ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเข้าในหลอดแก้วจนเกิดความร้อนที่ 500 องศาฟาเรนไฮต์ เพื่อทำความสะอาดหลอดให้สะอาด แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้หลอดเย็นตัว ก่อนจะสูบอากาศออกให้หมด และบรรจุก๊าซที่ให้แสงตามต้องการเข้าในหลอดแก้ว พร้อมปิดด้วยขั้วในแต่ละด้านให้สนิท ทั้งนี้ ปัจจุบัน หลอดแก้วด้านในมีการเคลือบด้วยสารเรืองแสงบางชนิดเพื่อให้เกิดแสงที่ต้องการด้วย เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ด้านในถูกเคลือบด้วยผงฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.8** รูปร่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ที่มา : https://www.e-education.psu.edu/egee102/node/2047

รูปร่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. รูปทรงแบบกระบอกตรงยาว
2. รูปทรงแบบฟันเฟือง
3. รูปทรงแบบวงกลม
4. รูปทรงแบบตัวยู
5. รูปทรงแบบตะเกียบ

องค์ประกอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ (100%)

– หลอดแก้ว : 89.79%
– ผงฟลูออเรสเซนต์ : 1.39%
– ฝาอลูมิเนียม : 0.93%
– ฉนวนบริเวณฝาหลอด : 0.12%
– ขาทองเหลืองทั้งสองด้าน : 0.58%
– ซีเมนต์ : 1.46%
– ไส้หลอดทังสเตน : 0.01%
– ออกไซด์ : 0.01%
– ท่อแก้ว (แก้วตะกั่ว) : 3.1%
– Fiare (แก้วตะกั่ว) : 2.41%
– โลหะเชื่อม (นิเกิล และทองแดง) : 0.2%

ทั้งนี้ หลอดฟลูออเรสเซนต์จะถูกบบรจุดด้วยไอ ปรอท ประมาณ 10 มิลลิกรัม/หลอด

กระบวนการทำงาน และการเกิดแสงสี

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านไอปรอทจะทำให้ไอปรอทถูกกระตุ้น และปล่อยพลังงานออกมา ในช่วงคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตที่ตามมนุษย์มองไม่เห็น ก่อนจะเข้ากระทบกับสารเรืองแสงที่เคลือบบริเวณผนังหลอดด้านใน หลังจากนั้น จึงเกิดการเรืองแสงเป็นสีต่างๆตามชนิดของสารเรืองแสง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของสารเรืองแสงกับรังสีอัลตราไวโอเลต

ข้อดี-ข้อเสียหลอดฟลูออเรสเซนต์

ข้อดี
– อายุการใช้งานนาน 10,000-13,000 ชั่วโมง
– ราคาต่ำ
– มีค่าดัชนีเทียบสีค่อนข้างสูง
– มีหลากหลายสีให้เลือก
– สามารถหรี่แสงได้
– หลอดไม่ร้อน ทำให้อากาศโยรอบไม่ร้อน
– ส่งแสงแบบกระจาย แสงไม่จ้าแยงตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

– ประสิทธิภาพการกำเนิดแสงยังไม่สูงมากนัก

– ใช้เวลา 2-3 วินาที หลอดจึงจะติด แต่ยกเว้นหลอดชนิดติดเร็ว

– ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ และบัลลาสท์ ต่อพ่วง

– อุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งมีน้ำหนักมาก โดยเฉพาะหลอดที่ใช้บัลลาสท์

– ควบคุมทิศทางของแสงได้ยาก

การรีไซเคิลหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. เศษแก้ว นำมาหลอมทำหลอดแก้วใหม่

2. อลูมิเนียม นำมาหลอมเป็นผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมใหม่

ทั้งนี้ ที่ผ่านมารัฐบาลมีโครงการนำหลอดฟลูออเรสเซนต์เก่ากลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ร่วมกับบริษัทผู้ผลิต ได้แก่ บริษัทโตชิบาไลทติ้ง จำกัด และบริษัทฟิลิปส์ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด

อันตรายจากหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. ปรอท

พิษเฉียบพลันเมื่อเข้าสู่ร่างกาย

– เกิดแผลพุพอง
– อุจจาระเป็นเลือด
– ปวดท้อง และมีอาการอาเจียน
– เนื้อเยื่อภายในอักเสบ มีเลือดออก
– เจ็บหน้าอก หายใจไม่ออก
– หมดสติ

พิษเรื้อรัง

– สัมผัสได้ถึงรสโลหะ
– เบื่ออาหาร ร่างกายอ่อนเพลีย
– ไตเสื่อม ปัสสาวะน้อยหรือปัสสาวะไม่ออก
– หูเสื่อม ไม่ได้ยินเสียง สายตามัว มองเห็นไม่ชัด พูดจาไม่ชัด ไม่เป็นคำ มือเท้าชา
– มีอาการหงุดหงิด และมีอาการทางจิต
– เนื้อเยื่อช่องปากอักเสบ
– เนื้อเยื่ออวัยวะภายในถูกทำลาย
– ระบบประสาทถูกทำลาย ความจำเสื่อม
– เป็นโรคผิวหนังหรือผดผื่นได้ง่าย

2. ไอของก๊าซ

– ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในระบบทางเดินหายใจ – ก่อให้เกิดมะเร็ง

3. เศษแก้ว

– คมจากเศษแก้วทำให้เกิดบาดแผล

2.4.6 หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode , LED)

หลอด LED (Light Emitting Diode) หรือไดโอดเปล่งแสง จุดกำเนิดคือ ไดโอด ไดโอดเป็นอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ขนาดสองขั้วที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า โดยยอม

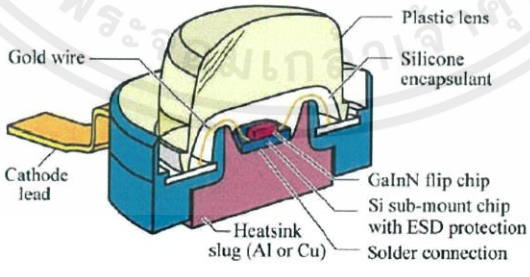
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว และกั้นการ ไหลในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงไดโอด มักจะหมายถึงไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (semiconductor diode) ซึ่งก็คือผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ทางขั้ว ไฟฟ้าทั้งสองขั้ว

ส่วนหลอด LED หรืออาจเรียกว่า solid-state lighting(SSL) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอดที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบในรูปของอิเล็กโตรลูมิเนสเซนต์(electroluminescence)สีของแสงที่ เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้และเปล่งแสงได้ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ช่วงแสงที่มองเห็น (visible light)และช่วงอินฟราเรด (infrared) ผู้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงขึ้นเป็นคนแรก คือ Nick Holonyak Jr. แห่งบริษัทเจเนรัลอิเล็กทริก (General Electric Company)โดยได้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงแสงสีแดงที่มองเห็นและสามารถใช้งานได้ ในเชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรก เมื่อ ค.ศ. 1962 จนกระทั่งช่วงทศวรรษที่ 1970 George Craford จึงได้คิดค้น LED สีเหลือง (amber)ขึ้นเป็นครั้งแรกและได้พัฒนาความสว่างของ LED สีแดงและสีแดงอมส้มด้วย

ในช่วงแรกๆ นั้นหลอด LED ใช้เป็นตัวบ่งบอกสัญญาณ(indicator light) ในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอเล็กทรอนิกส์ เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข รีโมทคอนโทรล และกระติกน้ำร้อน เป็นต้น เพราะตัวหลอด LED มีขนาด เล็กจิ๋ว และใช้กระแสไฟฟ้า น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณ แสงที่ออกมา ทำให้ในเวลาต่อมามีผู้พัฒนาหลอด LEDอย่างต่อเนื่อง จากแรกเริ่มที่ให้สีโทนร้อน คือ สีแดง ส้มเหลือง ต่อมาได้มีการคิดค้นวิธี การสร้างหลอดที่ให้ สีโทน เย็น คือ สีเขียวและน้ำเงินและได้แสงขาวโทนเย็นขึ้น จึงมีการนำมาใช้งานทดแทนหลอดไฟฟ้าชนิดอื่นอย่างจริงจังทั้งที่ ใช้เป็นแสงขาวโทนสีต่างๆ รวมทั้งใช้ เป็นไฟเปลี่ยนสีจากการผสมสี RGB

โครงสร้างหลอดได้โอดเปล่งแสง




**รูปที่ 2.9** โครงสร้างหลอดไดโอดเปล่งแสง

ที่มา : http://led-th.blogspot.com/2012/03/led_28.html

1. LED module อาจประกอบด้วย LED เม็ดเดียว หรือหลายเม็ดรวมกันในแผงเดียวกัน โดย LED แต่ละเม็ดประกอบด้วยชิป (chip)

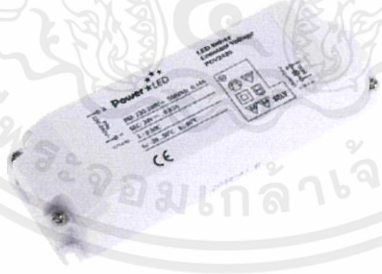
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารกึ่งตัวนำ ตัวฐาน และขาสำหรับใช้ต่อกับวงจรทั้งหมด หุ้มเคลือบด้วยวัสดุอีพ็อกซี่เรซิน(epoxy resin) ที่มีลักษณะโปร่งใสเหมือนเลนส์ เพื่อป้องกันชิ้นส่วนภายในตัว LEDและกำหนดทิศทางการกระจายแสง

**รูปที่ 2.10** LED module

ที่มา : https://www.archlighting.com/products/leds-and-drivers/

2. Driver เปนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ เปลี่ยนระดับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า จากปริมาณสูงให้น้อยลงก่อนจ่ายเข้าสู่ตัวหลอด นอกจากนั้นยังควบคุมความเข้มแสง โดยการเปลี่ยนความถี่และจังหวะความสว่างของเม็ด LED

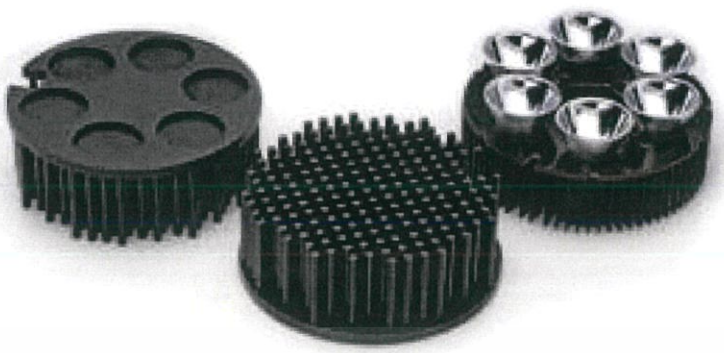


**รูปที่ 2.11** LED Driver

ที่มา : https://in.rsdelivers.com/product/powerled/pcv2420/

3. Heat sink เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนจากหลอด LEDซึ่งคุณภาพการระบายความร้อนขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เช่นทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.12** Heat sink

ที่มา : https://www.rapidled.com/140mm-pin-heatsink/

หลักการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode : LED)

เมื่อเปิดสวิตช์ไฟ กระแสไฟฟ้าจะผ่าน driver เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและเปลี่ยนจากความตางศักย์ไฟฟ้าส่งไปสู่ ความต่างศักย์ ไฟฟ้า ที่ค่อนข้างต่ำ ประมาณ 2.5-3 โวลต์แลวจึงจ่ายเข้าตัวชิปของหลอด LED ซึ่งมีเพียงตัวนำแคโทดและแอโนดเท่านั้น โดยหลอด LED จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยมาก ประมาณ 20มิลลิแอมป์

ในตัวชิปของLED ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำขั้วประจุบวกชนิด P (Positively changed material) ที่อยู่ห่างจากสารกึ่งตัวนำขั้วประจุลบชนิด N (Negatively changedmaterial) เล็กน้อย จุดนี้เรียกว่ารอยต่อ (junction) เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านหลอด LED ตัวนำแอโนดจะไปดันขั้วประจุบวกและตัวนำแคโทดไปดันขั้วประจุลบให้มาชนกันเมื่อประจุ บวกและประจุ ลบมาชนกันที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด ก็จะจับตัวกันและคายพลังงานออกมาในรปของแสงสว่างซึ่งเรียกว่า “อเล็กโตรลูมิเนสเซนต์” ทำให้เกิดแสงสว้างที่บริเวณด้านหน้าตัวหลอด ซึ่งมีอุณหภูมิในการทำงานที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป แสงสว่างที่ออกมาจะลดลงแสงจากหลอด LED มีลักษณะพุ่งออกในทิศทางเดียว แต่ในกรณีต้องการให้แสงกระจายออกในมุมแคบหรือกว้างเพิ่มขึ้นก็จะใช้อุปกรณ์ครอบหลอด LED ในลักษณะของเลนส์(package) ไว้เพื่อบังคับทิศทางของการกระจายแสง

หลอด LED สามารถเปิดปิดได้ทันทีไม่ต้องใช้ระยะเวลาในการจุดติดเหมือนหลอดไส้ที่ต้องเผาไส้หลอด หรือหลอดดิสชาร์จที่ต้องปรับแรงดันก๊าซภายใน หลอด LED สามารถปรับความเข้มของแสงได้ด้วยอุปกรณ์หรี่ไฟ (dimmer) โดยขึ้นอยู่กับรุ่นและอุปกรณ์ควบคุมซึ่งจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ได้ถูกพิสูจน์ว่าเหนือกว่าทางด้านประสิทธิภาพการให้พลังงาน ประสิทธิภาพด้านมูลค่า และประหยัดกว่าหลอดไฟแบบดั้งเดิม ทำให้หลอด LED เป็นตัวเลือกต้นๆในการประหยัดพลังงานด้านแสงสว่าง หลอด LED ที่ใช้ในการให้แสงสว่างบนท้องถนนมีอายุการใช้งานมากกว่า 50000 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งมากกว่าอายุการใช้งานของ หลอดโซเดียมความดันไอสูง ถึงสี่เท่า และหลอด LED ยังมีค่าซ่อมบำรุงและค่าเปลี่ยนหลอดที่ต่ำกว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูง

**ตารางที่ 2.2** ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีการให้ความสว่าง

| เทคโนโลยีหลอดไฟ | หลอดโซเดียมความดันต่ำ | หลอดโซเดียมความดันสูง | หลอดเรืองแสง | หลอดไดโอดเปล่งแสง |
|---|---|---|---|---|
| ระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง) | 10,000 - 18,000 | 12,000 - 24,000 | 12,000 - 24,000 | 50,000 - 100,000 |
| ค่าความสว่างต่อพลังงาน( lm/W ) | 80 - 180 | 45 - 130 | 60-90 | 70 - 150 |
| อุณหภูมิสี (k) | 1,800 | 2,000 | 3,000 - 6,500 | 3,000 - 6,500 |
| ความถูกต้องของสี (CRI) | 0 | 25 | 70-90 | 80 - 90 |
| คุณสมบัติ | ความถูกต้องของสีน้อย , บรรจุปรอทและตะกั่ว อายุการใช้งานสั้น | ความถูกต้องของสีน้อย , บรรจุปรอทและตะกั่ว,อายุการใช้งานสั้น | อายุการใช้งานสั้น ,บรรจุปรอทและตะกั่ว | ราคาแพง |

## 2.5 มาตรฐานการติดตั้งระบบแสงสว่างในอุตสาหกรรมชนิดต่างๆ

ในการติดตั้งระบบแสงสว่างในพื้นที่การทำงานจำเป็นจะต้องดำเนินการโดยคำนึงถึงหลักวิชาการ ซึ่งภายในโรงชำแหละก็ต้องมีการติดตั้งระบบส่องสว่างให้เป็นไปตามมาตรฐานเพื่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้ความสว่างภายในโรงชำแหละจึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.3** มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์) บริเวณโดยรอบที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงานโดยสายตามองเฉพาะจุดในการปฏิบัติงาน

| พื้นที่ 1 | พื้นที่ 2 | พื้นที่ 3 |
|---|---|---|
| 1,000 - 2,000 | 300 | 200 |
| มากกว่า 2000 - 5,000 | 600 | 300 |
| มากกว่า 5000 – 10,000 | 1,000 | 400 |
| มากกว่า 10,000 | 2,000 | 600 |

หมายเหตุ : พื้นที่ 1 หมายถึง จุดที่ให้ลูกจ้างทำงานโดยสายตามองเฉพาะจุดในการปฏิบัติงาน

พื้นที่ 2 หมายถึง บริเวณถัดจากที่ที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงานในรัศมีที่ลูกจ้างเอื้อมมือถึง

พื้นที่ 3 หมายถึง บริเวณโดยรอบที่ติดพื้นที่ 2 ที่มีการปฏิบัติงานของลูกจ้างคนใดคนหนึ่ง

2.5.1 ตารางแสดงความสว่างที่เหมาะสมในพื้นที่ต่าง ๆ[21]

**ตารางที่ 2.4** มาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณการผลิต

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม | โรงงานน้ำตาล<br>- พื้นที่ทั่วไป<br>โรงน้ำแข็ง<br>- พื้นที่ทั่วไป | <br>200<br><br>200 |
| อุตสาหกรรมอื่น ๆ | โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า<br>- พื้นที่ทั่วไป<br>อาคารหม้อน้ำ<br>- พื้นที่ทั่วไป<br>ห้องควบคุมและห้องสวิตช์<br>- พื้นที่ทั่วไป<br>ห้องปฏิบัติการทดลองและห้องทดสอบ<br>- พื้นที่ทั่วไป<br>โรงภาพยนตร์<br>- ห้องจองตั๋วหรือห้องขายตั๋ว<br>- ห้องฉายภาพยนตร์ | <br>50<br>50<br>200<br>400<br>400<br>400 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม | โรงงานทำขนมปัง | |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไป | 200 |
| | - บริเวณห้องผสมและห้องอบขนมปัง | 300 |
| อุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งพิมพ์ | โรงงานผลิตกระดาษและกระดาษแข็ง | |
| | - ห้องเครื่องจักร | 400 |
| | - ห้องรีดกระดาษ | 400 |
| | - โรงเตรียมวัตถุดิบและบริเวณกระบวนการตัดกแต่งการทำให้เรียบ | 400 |
| | โรงพิมพ์ | |
| | ห้องแท่นพิมพ์ | |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไป | 400 |
| | - บริเวณการตรวจสอบ | 600 |
| อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไม้ | งานไม้วัสดุแผ่นตกแต่งผิว | |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไป | 200 |
| อุตสาหกรรมเคมี | โรงงานผลิตยาและสารเคมีบริสุทธิ์ | |
| | - บริเวณที่เก็บวัตถุดิบ | 300 |
| | - บริเวณห้องทดสอบและห้องทดลอง | 400 |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตสารเคมีบริสุทธิ์ | 300 |
| | โรงงานผลิตสบู่ | |
| | - บริเวณกระบวนการต้มหรือการตัดสบู่เป็นชิ้น | 200 |
| อุตสาหกรรมพลาสติกและยาง | โรงงานผลิตเครื่องหนัง | |
| | - บริเวณกระบวนการต้ม | 200 |
| | โรงงานผลิตยาง | |
| | - บริเวณที่เก็บสินค้าและที่เตรียมโครงสร้าง | 300 |
| อุตสาหกรรมผลิตโลหะ | โรงประกอบเครื่องบินและซ่อมเครื่องบิน | |
| | - บริเวณคลังเก็บชิ้นส่วนเตรียมผลิต | 600 |
| | - บริเวณกระบวนการซ่อมและบำรุงรักษา | 400 |
| | โรงงานผลิตหรือประกอบนาฬิกาและเครื่องประดับ | |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไป | 600 |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตละเอียด | 800 |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตละเอียดมาก | 2,400 |
| | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| อุตสาหกรรมเหล็ก | | |
| | โรงงานผลิตเหล็ก(เหล็กเส้น เหล็กแผ่น และลวด) | |
| | - บริเวณบ่อชุบและเตาอบ | 100 |
| | - บริเวณกระบวนการนำเหล็กเข้าอบ | 200 |
| | - บริเวณกระบวนการรีดหนัก รีดหยาบ หรือการเฉือนหยาบ | 200 |
| | - บริเวณการรีดเย็น รีดร้อน และดึงลวดด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ หรือการเฉือนละเอียด | 300 |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไปในแผนกหลอมและรีด | 100 |
| | - บริเวณกระบวนการทำแผ่นเหล็ก การเคลือบสังกะสี และตีบุก | 200 |
| | - บริเวณห้องมอเตอร์ | 600 |
| | โรงงานผลิตเหล็กก่อสร้าง | |
| | - บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไป | 200 |
| สาหกรรมเหมือง | | |
| | กระบวนการบนพื้นดิน | |
| | - บริเวณกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ | 200 |
| | - บริเวณการทำงานของเครื่องจักร เครื่องเป่า หรือพัดลม | 200 |
| | - บริเวณกระบวนการล้างแร่ | 100 |
| | กระบวนการบนพื้นดิน | |
| | - บริเวณกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ | 200 |
| | - บริเวณการทำงานของเครื่องจักร เครื่องเป่า หรือพัดลม | 200 |
| | - บริเวณกระบวนการล้างแร่ | 100 |
| | - ห้องหน่วยปฏิบัติการฉุกเฉิน (Rescue room) | 200 |
| | - บริเวณกระบวนการซ่อม | 200 |
| | กระบวนการทำงานใต้พื้นดิน | |
| | - ทางเข้า - ออก | 20 |
| | - ห้องเครื่องจักรใต้ดิน | 20 |
| | - บริเวณสายพานลำเลียง | 20 |
| | - บริเวณทางแยก | 20 |
| | - สำนักงานใต้ดิน | 100 |
| อุตสาหกรรมอโลหะ | | |
| | โรงโม่หิน | |
| | - บริเวณอุโมงค์และสายพานลำเลียง ปล่องทางขึ้นลง รางเทหิน | 200 |
| | - บริเวณห้องบดหิน | 200 |
| | - บริเวณกระบวนการคัดแยก | 200 |
| | โรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาเซรามิก | |
| | - บริเวณกระบวนการบด การคัดแยก และห้องเผา | 200 |
| | - บริเวณกระบวนการปั้มขึ้นรูป การอัด การทำความสะอาดและการแต่ง | 300 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| อุตสาหกรรมอื่น ๆ | | |
| | โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า | |
| | - บริเวณที่ตั้งหม้อน้ำ กังหัน และเครื่องสูบน้ำ | 200 |
| | - บริเวณพื้นที่รอบ ๆ หัวเผาและเครื่องเป่าเขม่า | 200 |
| | - บริเวณกระบวนการอื่น ๆ | 200 |
| | - บริเวณอาคารหม้อน้ำใช้มาตรฐานอาคารหม้อน้ำ | 200 |
| | - บริเวณห้องควบคุมใช้มาตรฐานห้องควบคุมและห้องสวิตช์ | 200 |
| | อาคารหม้อน้ำ | |
| | - บริเวณการขนถ่ายถ่านหิน | 50 |
| | - บริเวณพื้นที่หน้าหม้อน้ำ | 200 |

(กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559)

**ตารางที่ 2.5** มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ณ ที่ที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงาน

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม | โรงโม่แป้ง | |
| | - การทำความสะอาด การโม่ หรือการบด | 200 |
| | - การอบ | 300 |
| | - การคัดเกรดแป้ง | 400 |
| | โรงงานน้ำตาล | |
| | - การคัดเกรดน้ำตาล | 600 |
| | โรงงานขนมปัง | |
| | - งานผสมและตกแต่ง | 300 |
| | - การตกแต่งและการเคลือบน้ำตาล | 400 |
| | โรงงานอาหารกระป๋อง | |
| | - งานตรวจสอบอาหาร | 600 |
| | - กระบวนการเตรียมอาหาร(การทำความสะอาด การต้ม ฯลฯ) | 400 |
| | - กระบวนการต้มกลั่น | 200 |
| | - กระบวนการติดฉลากด้วยความเร็วสูง | 400 |
| | โรงงานทำเนื้อสัตว์ | |
| | - การลอกหนัง | 200 |
| | - การถอดกระดูก การทำความสะอาด การบด หรือการตัด | 400 |
| | - การบรรจุหีบห่อและกระป๋อง | 400 |
| | - การตรวจสอบ | 600 |
| | โรงงานน้ำแข็ง | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| | โรงงานรีดนม | |
| | - การบรรจุขวด | 600 |
| | โรงงานผลิตช็อกโกแลตหรือลูกกวาด | |
| | - การผสม การกวน หรือการต้ม | 200 |
| | - การปอกเปลือก การกรองร่อน หรือการสกัดแยกไขมัน | 300 |
| | การบด การกลั่น การทำความสะอาดถั่ว การโม่บด หรือการทำครีม | |
| | - การตกแต่งด้วยมือ | 400 |
| อุตสาหกรรมสิ่งทอสิ่งถัก | โรงงานทอผ้าไหมและผ้าใยสังเคราะห์ | |
| | - การกรอด้าย การย้อม หรือการต่อเส้นด้าย | 400 |
| | - การทอและการตกแต่งสำเร็จ | 800 |
| | - การสืบด้ายเส้นยืน(เส้นด้ายตามยาวในเครื่องทอผ้า) | 400 |
| | - การร้อยตะกร้อ | 800 |
| | โรงงานทอผ้าปอกระเจา | |
| | - การทอ การปั่นเครื่องแจ็กการ์ด หรือการกรอ | 200 |
| | - การรีดเส้นด้าย | 200 |
| | โรงงานทอผ้าฝ้ายและผ้าลินิน | |
| | - การทอผ้าสีเข้ม ทอละเอียด | 800 |
| | - การทอผ้าสีอ่อน ทอละเอียด | 400 |
| | - การทอผ้าดิบ | 300 |
| | - การสืบด้าย การแต่ง หรือการบรรจุ | 300 |
| | - การลงด้ายคู่ | 300 |
| | - การกรอด้าย การย้อม การทำเกลียวเส้นใย การรีดปุย | 200 |
| | หรือการปั่น | |
| | - การอัดเบล การผสมเส้นใย หรือการสางเส้นใย | 200 |
| | - การร้อยตะกร้อ | 800 |
| | - การตรวจสอบด้วยมือ | 800 |
| | - การตรวจสอบด้วยความเร็ว | 1,200 |
| | โรงงานย้อมผ้า | |
| | - การรับผ้า หรือการตรวจตำหนิผ้าดิบ | 800 |
| | - กระบวนการชนิดเปียก | 200 |
| | - กระบวนการชนิดแห้ง | 300 |
| | - การจับคู่สี (การเทียบสี) | 1,200 |
| | - การตรวจสอบขั้นสุดท้าย | 1,600 |
| | โรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า | |
| | - งานรีด หรืองานบำรุงรักษาผ้า | 400 |
| | - งานคัดแยก ตัด หรือเย็บ ผลิตภัณฑ์สีอ่อน | 400 |
| | - งานคัดแยก ตัด หรือเย็บ ผลิตภัณฑ์สีปานกลาง | 600 |
| | - งานคัดแยก ตัด หรือเย็บ ผลิตภัณฑ์สีเข้ม | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| | - การตรวจสอบ หรือการตัดเย็บด้วยมือ | 800 |
| | โรงงานผลิตถุงเท้า ชุดชั้นในและเสื้อผ้าไหมพรม | |
| | - เครื่องถักกลม | 1,200 |
| | - เครื่องเย็บตะเข็บหรือเย็บริม | 400 |
| | - การประกอบ | 600 |
| | - การซ่อมแซมผลิตภัณฑ์สีอ่อน | 600 |
| | - การซ่อมแซมผลิตภัณฑ์สีเข้ม | 1,600 |
| | - การตรวจสอบและตกแต่งผลิตภัณฑ์สีอ่อนด้วยมือ | 2,400 |
| | - การตรวจสอบและตกแต่งผลิตภัณฑ์สีเข้มด้วยมือ | 1,200 |
| | โรงงานผลิตหมวก | |
| | - การถัก การทำความสะอาด การขึ้นรูป การวัดขนาด การทำปีกหมวก หรือการตกแต่งสำเร็จ | 1,600 |
| | - การย้อมสี | 200 |
| | - การเย็บผลิตภัณฑ์สีอ่อน - ปานกลาง | 300 |
| | - การเย็บผลิตภัณฑ์สีเข้ม | 600 |
| | - การตรวจสอบ | 800 |
| | โรงงานผลิตพรม | 1,200 |
| | - การกรอด้าย หรือการเตรียมด้ายเส้นยืน | 300 |
| | - การออกแบบ การตัดแบบกระดาษ การยึดแบบ การตัด หรือการเย็บริม | 400 |
| | - การถัก การปะซ่อม และการตรวจสอบ | 600 |
| | โรงซักรีดและซักแห้ง | |
| | - การซัก อบ | 200 |
| | - งานรับ - ส่ง และทำความสะอาด | 300 |
| | - งานรีดและพับ | 400 |
| | - งานคัดแยก และตรวจสอบ | 400 |
| | - งานปะซ่อม | 600 |
| อุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งพิมพ์ | งานแกะสลักและแกะแม่พิมพ์ | |
| | - การแกะสลักหิน และเครื่องจักร | 600 |
| | - การแกะสลักด้วยมือ หรือการแกะแม่พิมพ์ละเอียด | 1,200 |
| | งานไม้ทั่วไป | |
| | - งานเลื่อย | 200 |
| | - การวัดขนาด ออกแบบ หรือขัดกระดาษทรายหยาบ การติดกาว การใช้เครื่องจักรและโต๊ะทำงานปานกลาง | 300 |
| | - การตกแต่ง การขัดกระดาษทรายละเอียด การใช้เครื่องจักรและโต๊ะทำงานละเอียด การดาดพื้นหน้าโต๊ะ เก้าอี้และอื่นๆ | 400 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| | งานไม้วัสดุแผ่นตกแต่งผิว | |
| | - การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ | 400 |
| | โรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ | |
| | งานเครื่องจักรและการประกอบไม้ | |
| | - งานเลื่อยและตัดไม้แบบหยาบ | 200 |
| | - งานที่ใช้เครื่องจักร งานขัดกระดาษทราย และการประกอบ | 400 |
| | งานฝีมือละเอียด | |
| | - งานคัดแยกและเตรียมไม้ลายบางๆ หรือพลาสติกสำหรับดาดพื้นหน้าโต๊ะ เก้าอี้ ฯลฯ | 800 |
| | - การดาดพื้นหน้าโต๊ะ เก้าอี้ ฯลฯ | 400 |
| | - การเข้ารูป และตรวจสอบขั้นสุดท้าย | 400 |
| | การทำเบาะบุนวม | |
| | - ขั้นตอนการตรวจสอบวัตถุดิบ | 1,200 |
| | - การใส่วัตถุดิบและคลุม | 400 |
| | - การทำปลอกสวมโต๊ะ หรือเก้าอี้ | 600 |
| | - การตัดและเย็บ | 600 |
| | การทำฟูกและที่นอน | |
| | - การประกอบ | 400 |
| | - การติดขอบ | 600 |
| | งานที่เกี่ยวกับงานสี ใช้มาตรฐานงานทาสีและพ่นสีในอุตสาหกรรมเคมี | |
| | งานที่เกี่ยวกับงานไม้ ใช้มาตรฐานงานไม้ทั่วไป | |
| อุตสาหกรรมเคมี | โรงงานผลิตยาและสารเคมีบริสุทธิ์ | |
| | การผลิตยา | |
| | - การบด กวนผสม ทำให้แห้ง การอัดเม็ด ฆ่าเชื้อ การเตรียมและเติมสารละลาย | 400 |
| | - การติดฉลาก บรรจุและทำหีบห่อ การตรวจสอบ และการผลิตสารเคมีบริสุทธิ์ | 400 |
| | - การแต่งเคมีบริสุทธิ์ขั้นสุดท้าย | 400 |
| | โรงงานผลิตสารเคมี | |
| | - กระบวนการต้ม ทำให้แห้ง การกรอง การทำให้ตกผลึก การฟอกสี และการสกัด | 200 |
| | - เครื่องมือวัด เกจ วาล์ว ฯลฯ | 100 |
| | งานทาสีและพ่นสี | |
| | - การจุ่ม การอบ และการพ่นสีรองพื้น | 200 |
| | - การขัดถู การพ่นสี ทาสี และการตกแต่งงานปกติ | 400 |
| | - การพ่นสี ทาสี และการตกแต่งงานละเอียด | 600 |
| | - การพ่นสี ทาสี หรือการตกแต่งงานละเอียดมากเป็นพิเศษ เช่น ตัวถังรถยนต์ หีบเปียโน ฯลฯ | 800 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| | โรงงานผลิตสี | |
| | - เครื่องจักรอัตโนมัติทั่วไป | 200 |
| | - การผสมสีกลุ่มพิเศษ | 600 |
| | - การเปรียบเทียบสี | 800 |
| | โรงงานผลิตสบู่ | |
| | - การห่อ การบรรจุ และการประทับตรา | 300 |
| | โรงงานยาสูบ | |
| | - การทำให้แห้ง และงานทั่วไป | 200 |
| | - การทำเป็นชิ้น | 400 |
| | - การคัดเลือกและการแบ่งเกรด | 600 |
| อุตสาหกรรมพลาสติกและยาง | โรงงานพลาสติก | |
| | - กระบวนการรีด | 400 |
| | - กระบวนการอัด ฉีด และการเป่าแม่พิมพ์การขึ้นโครงแผ่น | 300 |
| | - การขึ้นรูป | 300 |
| | - การตกแต่งทำให้เรียบและการขัดเงา | 400 |
| | - การติดประสาน | 300 |
| | - การเปรียบเทียบสี และการประกอบ | 800 |
| | - การตรวจสอบ | 600 |
| | งานที่เกี่ยวกับงานผลิตวัตถุดิบพลาสติก ใช้มาตรฐาน | |
| | โรงงานผลิตสารเคมีในอุตสาหกรรมเคมี | |
| | โรงงานผลิตเครื่องหนัง | |
| | - การทำความสะอาด หรือการฟอก | 200 |
| | - การตัด หรือการขูด | 200 |
| | - การตกแต่ง | 300 |
| | - การอัดบดและม้วนหนังสีอ่อน | 300 |
| | - การอัดบดและม้วนหนังสีเข้ม | 600 |
| | - การติดการเย็บหนังสีอ่อน | 400 |
| | - การติดการเย็บหนังสีเข้ม | 800 |
| | - การคัดเกรดและการเปรียบเทียบสีหนังสีอ่อน | 600 |
| | - การคัดเกรดและการเปรียบเทียบสีหนังสีเข้ม | 1,200 |
| | โรงงานผลิตยาง | |
| | - การทำยางรถยนต์และยางใน | 300 |
| | - การตรวจสอบ และแก้ไข | 600 |
| | โรงงานผลิตรองเท้า | |
| | - การคัดเลือกและการแบ่งเกรด | 1,200 |
| | - การเตรียมส่วนประกอบ | 800 |
| | - การคัด การตัด หรือการเย็บชิ้นส่วนประกอบ | 1,200 |
| | - การเตรียมพื้น การใส่แบบไม้และทำพื้น หรือการตกแต่งสำเร็จ | 800 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| อุตสาหกรรมผลิตโลหะ | | |
| | โรงประกอบเครื่องจักร | |
| | งานหยาบ | |
| | - การประกอบเครื่องจักรกลหนัก โครงและชิ้นส่วนขนาดใหญ่ | 200 |
| | งานปานกลาง | |
| | - งานประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรยนต์และงานตัวถังรถยนต์ | 400 |
| | งานละเอียด | |
| | - งานประกอบชิ้นส่วนเล็กๆ วิทยุ อุปกรณ์โทรศัพท์ หรือส่วนประกอบเครื่องยนต์ | 800 |
| | งานละเอียดพิเศษ | |
| | - งานประกอบชิ้นส่วนขนาดเล็กมากๆ หรือการทำเครื่องมือวัดเครื่องจักรกลที่เที่ยงตรง | 1,600 |
| | โรงประกอบเครื่องบินและโรงซ่อม | |
| | - การเจาะ การเย็บหมุด ขันนอต การจัดวางแผ่นอลูมิเนีย และการทำผนัง การทำปีก การทำกระบังรับลม การเชื่อม การประกอบย่อย การประกอบขั้นสุดท้าย หรือการตรวจสอบ | 400 |
| | - งานทดสอบเครื่องยนต์ | 600 |
| | โรงกลึง เจาะ ไสโลหะ และโรงปรับเครื่อง | |
| | - งานที่ใช้โต๊ะทำงานและเครื่องจักรแบบหยาบ การนับ หรือการตรวจสอบชิ้นส่วนอะไหล่ในคลังเก็บ (โดยทั่วไปขนาดใหญ่กว่า 750 ไมโครเมตร) | 200 |
| | - งานที่ใช้โต๊ะทำงานและเครื่องจักรแบบปานกลาง งานเครื่องจักรกลอัตโนมัติตามปกติ การเจียรแบบหยาบ หรือการขัดและขัดเงาปานกลาง (โดยทั่วไปขนาดใหญ่กว่า 125 ไมโครเมตร) | 400 |
| | - งานที่ใช้โต๊ะทำงานและเครื่องจักรแบบละเอียด งานเจียรปานกลาง หรือการขัดและขัดเงาละเอียด (โดยทั่วไปขนาดใหญ่กว่า 25 ไมโครเมตร) | 800 |
| | - งานที่ใช้โต๊ะทำงานและเครื่องจักรแบบละเอียดพิเศษ งานเจียรละเอียด หรืองานทำเครื่องมือและแกะแม่พิมพ์(โดยทั่วไปขนาดเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร) | 1,600 |
| | งานเชื่อมและบัดกรี | |
| | - การเชื่อมด้วยก๊าซ ไฟฟ้า หรือทองเหลือง 200 | 200 |
| | - การเชื่อมไฟฟ้าเฉพาะแห่ง และบัดกรีธรรมดาทั่วไป | 400 |
| | - การเชื่อมไฟฟ้าเฉพาะแห่ง และบัดกรีขนาดเล็ก | 800 |
| | - การเชื่อมไฟฟ้าเฉพาะแห่ง และบัดกรีขนาดเล็กมาก เช่น หลอดวิทยุ ฯลฯ | 1,200 |
| | โรงงานผลิตยานยนต์ | |
| | - กระบวนการประกอบทั่วไป หรือการประกอบโครงรถ | 400 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| | - การตรวจสอบขั้นสุดท้าย | 600 |
| | - งานตกแต่ง งานทำตัวถัง หรืองานประกอบตัวถัง | 400 |
| | งานที่เกี่ยวกับงานสี ใช้มาตรฐานงานทาสีและพ่นสี ในอุตสาหกรรมเคมี | |
| | งานที่เกี่ยวกับงานเบาะบุนวม ใช้มาตรฐานการทำเบาะบุนวมของโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไม้ | |
| | โรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า | 300 |
| | - กระบวนการแช่ และการทำไมกา | 400 |
| | - การทำขดลวดคอยล์ หรือกระบวนการหุ้มฉนวนโดยทั่วไป | 800 |
| | - การทำขดลวดคอยล์ หรือกระบวนการหุ้มฉนวนโดยอุปกรณ์ละเอียด | |
| | งานที่เกี่ยวกับงานกลึง เจาะ หรือไสโลหะ ใช้มาตรฐานโรงกลึง เจาะ ไสโลหะ และโรงปรับเครื่อง | |
| | งานที่เกี่ยวกับงานผลิตโลหะแผ่น ใช้มาตรฐานโรงงานผลิตโลหะแผ่น ในอุตสาหกรรมเหล็ก | |
| | โรงงานผลิตหรือประกอบเครื่องประดับ | 1,600 |
| | - การเจียระไนเพชรพลอย ขัดเงา หรือฝังเพชรพลอย | |
| อุตสาหรรมเหล็ก | โรงงานผลิตเหล็ก (เหล็กเส้น เหล็กแผ่น และลวด) | |
| | - งานตรวจสอบแผ่นเหล็ก | 400 |
| | โรงงานผลิตโลหะแผ่น | |
| | - งานที่ทำด้วยเครื่องจักรหรือบนโต๊ะทำงาน ปั๊มตรา การเฉือน 400 | 400 |
| | การรีด การเชื่อมไฟฟ้า และม้วน | |
| | โรงงานตีเหล็ก | 200 |
| | - งานตี และเชื่อม | |
| | โรงงานผลิตเหล็กก่อสร้าง | 400 |
| | - งานทำเครื่องหมาย | |
| อุตสาหกรรมอโลหะ | โรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาและเซรามิก | |
| | - งานเคลือบเงา หรือลงยา 400 | 400 |
| | - งานลงสี และทำให้ขึ้นเงา 600 | 600 |
| | โรงหล่อโดยใช้แม่พิมพ์ทราย | |
| | - การเทโลหะหลอมละลายใส่แม่พิมพ์ และการถอดแม่พิมพ์ | 200 |
| | - การแต่ง และการยิงทราย 300 | 300 |
| | - การทำแม่พิมพ์หยาบ 200 | 200 |
| | - การทำแม่พิมพ์ละเอียดและการตรวจสอบ 400 | 400 |
| | งานทำแก้ว | |
| | - การปั๊มขึ้นรูป เป่าแก้ว และขัดเงา | 200 |
| | - การโม่ การตัด หรือการตัดแก้วตามขนาด | 300 |
| | - การโม่ละเอียด แกะสลัก ตกแต่ง ทำมุม และการตรวจสอบ | 400 |
| | - การตรวจสอบอย่างละเอียด และตัดแต่ง | 800 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคาร/พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์) |
|---|---|---|
| อุตสาหกรรมอื่นๆ | | |
| | โรงผลิตกระแสไฟฟ้า | |
| | - การปฏิบัติงานทั่วไปของโรงกังหัน | 300 |
| | - การบำรุงรักษากังหัน | 600 |
| | - เครื่องมือวัด เกจ วาล์ว ฯลฯ (ไม่รวมอาคารหม้อน้ำ) | 100 |
| | งานที่เกี่ยวกับหม้อน้ำใช้มาตรฐานอาคารหม้อน้ำ | |
| | อาคารหม้อน้ำ | |
| | - เครื่องมือวัด เกจ ฯลฯ | 200 |
| | สถานีบริการน้ำมัน | |
| | - งานบริการซ่อม | 400 |
| | ห้องปฏิบัติการทดลองและห้องทดสอบ | |
| | - การปรับเทียบมาตรฐานสากล เครื่องจักรกลที่เที่ยงตรง เครื่องทดสอบ และเครื่องมือวัด | 800 |
| งานสำนักงาน | | |
| | ห้องคอมพิวเตอร์ | |
| | - งานบันทึกข้อมูล | 600 |
| | - บริเวณที่แสดงข้อมูล (จอภาพและเครื่องพิมพ์) | 600 |
| | ห้องธุรการ | |
| | - งานพิมพ์ดีด การเขียน การอ่าน และการจัดเก็บเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง | 400 |
| | - การทำงานที่สีของชิ้นงานกับสีของพื้นผิวกลมกลืนกัน | 600 |

(กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559)

**ตารางที่ 2.6** มาตรฐานเทียบเคียงความเข้มของแสงสว่าง ณ ที่ที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงาน

| การใช้สายตาตามลักษณะงาน | ความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์) | ตัวอย่าง |
|---|---|---|
| งานละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ | 2,400 หรือมากกว่า | - การตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก (เช่น เครื่องมือที่มีขนาดเล็กมาก)<br>- การทำเครื่องประดับและทำนาฬิกาในกระบวนการที่มีขนาดเล็ก<br>- การถักถุงเท้า เสื้อผ้าที่มีสีเข้ม รวมทั้งการซ่อมแซมสินค้าที่มีสีเข้ม |
| งานละเอียดสูงมาก | 1,600 | - งานละเอียดที่ต้องทำบนโต๊ะหรือเครื่องจักร เช่น ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์ (ขนาดเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร) ตรวจวัด และตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กและชิ้นงานที่มีส่วนประกอบขนาดเล็ก<br>- การซ่อมแซมสินค้าสิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีอ่อน<br>- การตรวจสอบและตกแต่งชิ้นส่วนของสินค้า สิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีเข้ม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| การใช้สายตาตามลักษณะงาน | ความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์) | ตัวอย่าง |
|---|---|---|
| งานละเอียดน้อยมาก | 200 | - งานหยาบที่ทำที่โต๊ะหรือเครื่องจักร (ขนาดใหญ่ ต้นฉบับกว่า 750 ไมโครเมตร) การตรวจงานหยาบด้วยสายตา การนับ หรือการตรวจเช็คสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ในห้องเก็บของ |

(กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559)

## 2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า

2.6.1 มาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า

มารตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า มีความสำคัญยิ่ง ทั้งนี้ เพื่อความปลอดภัย คงทนถาวร และเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้อยู่ในระบบให้ยาวนานยิ่งขึ้น การติดตั้งระบบไฟฟ้า มีมาตรฐานกำหนดที่แน่นอน และมีหลายหน่วยงาน เช่น กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และหน่วยงานจากต่างประเทศที่ประเทศไทยนำมายึดถือ เช่น National Electric Code (NEC) Amarican National Standard Institute (ANSI) International Electrotechical Commission (IEC) เป็นต้น และหน่วยงานที่รับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ คือ สำนักผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่รู้จักกันในชื่อ มอก.

2.6.2 ศัพท์เฉพาะ หรือคำจำกัดความ ด้านระบบไฟฟ้า ที่ควรรู้

2.6.2.1 ระบบไฟฟ้าแรงสูง คือ ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้า เกิน 1,000 โวลท์

2.6.2.2 ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ คือ ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 1,000 โวลท์

2.6.2.3 โวลท์ (Volt.) คือ หน่วยวัดแรงดันไฟฟ้า

2.6.2.4 แอมแปร์ ( Amp.) คือ หน่วยวัดกระแสไฟฟ้า

2.6.2.5 วัตต์ (Watt.) คือ หน่วยของกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง

2.6.2.6 หน่วย (Unit) คือ หน่วยของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ต่อชั่วโมง มีอุปกรณ์ที่ใช้วัด คือ กิโลวัตต์ฮอร์มิเตอร์ (Kwh. )

2.6.3 ระบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟส คือ ระบบไฟฟ้าที่นำมาใช้ โดยแยกออกดังนี้

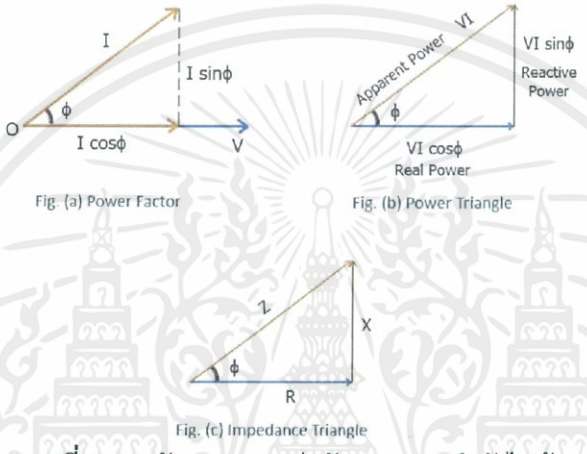
2.6.3.1 ระบบ 1 เฟส จะมี 2 สายในระบบ ประกอบด้วย สาย LINE (มีไฟ) 1 เส้น และสาย Neutral (ไม่มีไฟ) 1 เส้น มีแรงดันไฟฟ้า 220 – 230 โวลท์ มีความถี่ 50 เฮิร์ซ (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.2 ระบบ 3 เฟส จะมี 4 สายในระบบ ประกอบด้วย สาย LINE (มีไฟ) 3 เส้น และสายนิวตรอน (ไม่มีไฟ) 1 เส้น มีแรงดันไฟฟ้าระหว่าง สาย LINE กับ LINE 380 – 400 โวลท์ และแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย LINE กับ Neutral 220 – 230 โวลท์ และมีความถี่ 50 เฮิร์ซ (Hz) เช่นเดียวกัน

2.6.3.3 สายดิน หรือ GROUND มีทั้ง 2 ระบบ ติดตั้งเข้าไปในระบบเพื่อความปลอดภัยของระบบ สายดินจะต้องต่อเข้าไปกับพื้นโลกตามมาตรฐานกำหนด

2.6.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า




**รูปที่ 2.13** ลักษณะของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ที่มา : http://epower1.blogspot.com/2013/03/blog-post_24.html

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า คือ อัตราส่วน ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง (วัตต์) กับ กำลังไฟฟ้าปรากฏ หรือกำลังไฟฟ้าเสมือน (VA) ซึ่ง ค่าที่ดีที่สุด คือ มีอัตราส่วนที่เท่ากัน จะมีค่าเป็นหนึ่ง แต่ในทางเป็นจริงไม่สามารถทำได้ ซึ่งค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้ภาระไฟฟ้าซึ่งภาระไฟฟ้าทางไฟฟ้ามีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

2.6.4.1ภาระไฟฟ้าประเภท Resistive หรือ ความต้าน จะมีค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นหนึ่ง อันได้แก่ หลอดไฟฟ้าแบบใส้ เตารีดไฟฟ้า หม้อหุงข้าวเครื่องทำน้ำอุ่น เป็นต้น ถ้าหน่วยงานหรือองค์กร มีภาระไฟฟ้าประเภทนี้เป็นจำนวนมาก ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

2.6.4.2 ภาระไฟฟ้าประเภท Inductive หรือ ความเหนี่ยวนำ จะมีค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่เป็นหนึ่ง อันได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ขดลวดเช่นมอเตอร์บาลาสก์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดแก๊สดิสชาร์จ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าหน่วยงานหรือองค์กรส่วนใหญ่ จะหลีกเลี่ยงภาระไฟฟ้า ประเภทนี้ไม่ได้ และมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ ค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่เป็นหนึ่ง และภาระไฟฟ้าประเภทนี้จะทำให้ค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ล้าหลัง ( Lagging ) จำเป็นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องปรับปรุงค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยการนำภาระไฟฟ้าประเภทให้ค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้า ( Leading )มาต่อเข้าในวงจรไฟฟ้าของระบบ เช่น การต่อชุด Capacitor Bank เข้าไปในชุดควบคุมไฟฟ้า

2.6.4.3 ภาระไฟฟ้าประเภท Capacitive หรือ ภาระไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นองค์ประกอบภาระไฟฟ้าประเภทนี้จะมีใช้น้อยมาก จะมีค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่เป็นหนึ่ง ภาระไฟฟ้าประเภทนี้จะทำให้ค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้า ( Leading ) คือกระแสจะนำหน้าแรงดัน จึงนิยมนำภาระไฟฟ้าประเภทนี้มาปรับปรุงค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบที่มีค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลัง เพื่อให้ค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงหนึ่ง

ข้อดี ของการปรับปรุง ค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

- กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรไฟฟ้าลดลง
- หม้อแปลง และสายเมนไฟฟ้า สามารถรับภาระไฟฟ้าเพิ่มได้มากขึ้น
- ลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟฟ้าลง
- ลดแรงดันไฟฟ้าตก
- เพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าทั้งระบบ

2.6.5 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

หน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบัน คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าให้การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไปจำหน่าย การไฟฟ้านครหลวง จะจำหน่ายไฟฟ้าให้ กทม.และปริมณฑล ส่วนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะจำหน่ายไฟฟ้าให้กับต่างจังหวัดของทุกภาคในประเทศระบบไฟฟ้าในภาคใต้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้า แล้วแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงถึง 230 กิโลโวลท์ (KV.) แล้วส่งไปตามเมืองต่างๆ เข้าที่สถานีไฟฟ้าย่อย ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าย่อยจะปรับลดแรงดันไฟฟ้าเหลือ 33 กิโลโวลท์ แล้วจ่ายเข้าในตัวเมือง และผู้ใช้ไฟฟ้าต้องติดตั้งหม้อแปลง เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงต่ำ เพื่อนำมาใช้งานต่อไป

กำลังไฟฟ้ามีด้วยกัน 3 อย่างคือ

- กำลังไฟฟ้าจริง มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)
- กำลังไฟฟ้าแฝง มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR)
- กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีหน่วยเป็น โวลท์แอมป์ (VA)

2.6.6 หม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น หรือต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่จะใช้ งานบางอย่างต้องการใช้แรงดันสูง เช่น การส่งพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ามายังสถานีย่อย ต้องใช้หม้อแปลงแรงไฟฟ้าแรงสูง แต่ การใช้ในบ้านเรือน หรือ โรงงานต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงต่ำ ซึ่งหม้อแปลงมีหลายชนิด หลายขนาด เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน

2.6.7 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

-MDB. (Main distribution board ) เป็นตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก มี Main Circuit Breaker เพื่อตัดต่อวงจรไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร

-SDB. (Sub distribution board ) เป็นตู้ควบคุมย่อย จ่ายกระแสไฟฟ้าไปตามตู้ PB. หรือ Load Center หลายๆ ตู้ ขึ้นอยู่กับขนาดของอาคาร

-PB ( Panel board ) หรือ Load Center เป็นแผง Circuit breaker ที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับจำนวนของ ภาระไฟฟ้า

2.6.8 การต่อลงดิน

การต่อลงดิน คือการใช้ตัวนำทางไฟฟ้า ต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า หรือ บริภัณฑ์ไฟฟ้า ต่อเข้ากับพื้นโลกอย่างมั่นคง ถาวร การต่อลงดินมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดอันตรายที่อาจจะเกิดกับบุคคล และลดความเสียหายที่อาจจะเกิดกับเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า

หน้าที่หลักของสายดิน มีอยู่ 2 ประการ คือ

1. เมื่อเกิดแรงดันเกิน จะจำกัดแรงดันไฟฟ้าของวงจร ไม่ให้สูงจนอาจทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้า เสียหาย และลดแรงดันไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นที่เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ ส่วนประกอบ เนื่องจากการรั่ว หรือการเหนี่ยวนำ เพื่อลดอันตรายจากบุคคลที่ไปสัมผัส

2. เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน จะช่วยลดความเสียหายของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้า การต่อลงดินที่ถูกต้องจะช่วยให้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ป้องกันทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

ชนิดของการต่อลงดิน มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ( System Grounding)

2. การต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า ( Equipment Grounding )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า ( Lightning Grounding )

2.6.9 อุปกรณ์ตัดตอน หรืออุปกรณ์ปลดวงจร

อุปกรณ์ตัดตอน หรือ อุปกรณ์ปลดวงจร มีหน้าที่ ตัดตอนวงจรไฟฟ้าออกยามไม่ต้องการให้มีกระไฟฟ้าไหลในระบบ เช่น การซ่อมแซม และเพื่อ ป้องกันอันตรายต่อ ระบบ อันเนื่องมาจาก การใช้กระแสไฟฟ้าเกินพิกัด หรือ เกิดการลัดวงจร อุปกรณ์ตัดตอน ที่ใช้กันส่วนใหญ่ในปัจจุบัน คือ ฟิวส์ และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB.) แต่การใช้งานและ การออกแบบติดตั้ง ต้องใช้ขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมกับงาน มิฉะนั้นอุปกรณ์ดังกล่าวจะไม่ทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ เช่น การเลือกขนาด CB สูงเกินไป เมื่อเกิดปัญหาหรือกระแสไหลเกินพิกัดของสาย จะทำให้ อุปกรณ์ จะไม่ตัดวงจร และเกิดความเสียหายเกิดขึ้นตามมา เช่น สายไหม้ หรือ อันตรายต่อหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น

2.6.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้า[23]

วงจรไฟฟ้าสำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าจะประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุม เครื่องกลหลายชนิดน ามาใช้ประกอบร่วมกัน เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องกลไฟฟ้าให้ ทำงานตามความต้องการได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยในการใช้งาน อุปกรณ์ที่ได้กล่าวถึงดังกล่าวได้แก่

2.6.10.1 สวิตช์ปุ่มกด (Push button Switch) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สวิตช์นี้จะมีหน้าสัมผัส (Contact) แบบปกติเปิด (Normally Open ; N.O.) 1 ชุดและแบบปกติปิด (Normally Close ; N.C.) 1 ชุด เมื่อกดปุ่มแล้วหน้าสัมผัสทั้งคู่ดังกล่าวจะเปลี่ยนตำแหน่งและเมื่อปล่อยมือหน้าสัมผัสทั้งคู่จะกลับคืนตำแหน่งเดิมโดยไม่ค้างตำแหน่งด้วยแรงดันของสปริงเราเรียกการทำงานของหน้าสัมผัสนี้ว่า Momentary Contact มีหลายประเภทดังนี้

1) สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดา ใช้ในงานเริ่มเดิน (Start) และหยุดหมุน (Stop) สวิตช์สีเขียวใช้ในการเริ่มทำงานของ หน้าสัมผัส เป็นชนิดปกติเปิด (Normally Open) หรือที่ เรียกว่า เอ็นโอ (N.O.) ส่วน สวิตช์สีแดงใช้ในการหยุดการทำงาน (Stop) หน้าสัมผัสเป็นชนิด ปกติ ปิด (Normally Close) หรือที่เรียกว่าเอ็น ซี (N.C.) โดยแสดงรูปสวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดารูปที่ 2.14ก

2) สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency push button) เป็นสวิตช์ที่เหมาะกับ งานที่ที่เกิดเหตุฉุกเฉินหรืองานที่ต้องการหยุดทันที โดยแสดงรูป Emergency push button รูปที่ 2.14ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.14ก** สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดา

ที่มา : http ://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara010.html

**รูปที่ 2.14ข** Emergency push button

ที่มา : http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara010.html

2.6.10.2 สวิตช์เลือก (Selector switch ) มีใช้มากในงานที่ต้องควบคุมการทำงานด้วยมือ แสดงตัวอย่างของสวิตช์เลือกแบบ 3 ตา แหน่งและตารางแสดงการทำงานของสวิตช์เลือก เครื่องหมาย X ในตารางแทนด้วยหน้าสัมผัสปิด สวิตช์เลอีกมี 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งหยุด (off) ตำแหน่งมือ (hand ) และ ตำแหน่งออโต (automatic) โดยแสดงสวิตช์เลือก (Selector switch) ดังรูปที่ 2.15

**รูปที่ 2.15** รูปแสดงสวิตช์เลือก (Selector switch )

ที่มา : http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara010.html

2.6.10.3 แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) หรือเรียกว่าคอนแทคเตอร์ (Contactor) เป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นตัวตัดและต่อวงจรเหมือน สวิตช์ไฟฟ้าทั่วไป แต่คอนแทคเตอร์ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กแทนการสับสวิตช์ด้วยมือโดยตรง ในตัวคอนแทคเตอร์จะมีหน้าสัมผัส (Contact) จำนวนหลายชุดติดอยู่บนแกนเดียวกันและทำงาน พร้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน หน้าสัมผัส (Contact) โดยรูปแสดงแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) ดังรูปที่ 2.16

1) หน้าสัมผัส (Main Contractor) เป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open: NO) ใช้สำหรับเปิดหรือปิดวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะ เช่น มอเตอร์ ไฟฟ้า เป็นต้น ทั้งนี้เพราะหน้าสัมผัสถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่เหมาะสำหรับใช้กับกระแสไฟฟ้าสูง สังเกตดูได้จากสกรูที่หน้าสัมผัสจะมีขนาดใหญ่และจะมีตัวอักษรก ากับเป็น L1, L2, L3, - T1, T2, T3

2) หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contact) หน้าสัมผัสจะเป็นแบบปกติเปิด (Normally Open; NO) หรือแบบปกติปิด (Normally Close; NC) ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งาน หน้าสัมผัสช่วยนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าหน้าสัมผัสหลักจึงทนกระแสไฟฟ้าได้น้อยกว่า จึงใช้เฉพาะในวงจร ควบคุมเท่านั้น ไม่สามารถนาไปต่อใช้เปิดหรือปิดวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ ไฟฟ้าโดยตรงได้

3) รีเลย์ (Relay) เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยในการตัด ต่อวงจรควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเหมือนแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ แต่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าน้อย เช่นวงจรหลอดสัญญาณ หรือมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กเท่านั้น ดังนั้นหลักการทำงานจึงเหมือนกับแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์แต่มีขนาดเล็กกว่า

**รูปที่ 2.16** รูปแสดงแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)
ที่มา : http://www.praguynakorn.com

การพิจารณาเลือกไปใช้งานในการเลือกแมคเนติกคอนแทคเตอร์ในการใช้งานให้เหมาะสมกับมอเตอร์นั้น จะพิจารณาที่กระแสสูงสุดในการใช้งาน(rated current)และแรงดันของมอเตอร์ต้องเลือกแมคเนติกคอนแทคเตอร์ที่มีกระแสสูงกว่ากระแสที่ใช้งานของมอเตอร์ที่มีแรงเท่ากันในการพิจารณาเลือกแมคเนติกคอนแทคเตอร์ใช้งานควรพิจารณาดังนี้

- ลักษณะของโหลดและการใช้งาน
- แรงดันและความถี่
- สถานที่ใช้งาน
- ความบ่อยครั้งในการใช้งาน
- การป้องกันจากการสัมผัสและการป้องกันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความคงทนทางกลและทางไฟฟ้า

2.6.10.3 โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay) หรือ Protective motor relay เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ที่เรียกว่า “Running Protection” ออกแบบใช้สำหรับตัดวงจรมอเตอร์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกินกว่าพิกัดกระแสของมอเตอร์ซึ่งจะทำให้ขดลวดของมอเตอร์ร้อนขึ้นเรื่อยๆและไหม้ในที่สุด แต่ถ้าหากในวงจรนั้นมีโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay) อยู่ด้วยและตั้งให้กระแสไฟฟ้าถูกต้อง วงจรควบคุมจะถูกตัดวงจรออกไปก่อนที่ขดลวดมอเตอร์จะไหม้ การทำงานของโอเวอร์โหลดรีเลย์จะอาศัยผลของความร้อนโครงสร้างภายใน ประกอบด้วยขดลวดความร้อนที่พันอยู่กับโลหะคู่ (Bimetal) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกินพิกัดที่ก าหนด ไว้จะทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นที่ Bimetal เป็นผลทำให้ Bimetal โก่งตัวดันคานส่งเคลื่อนที่ไปดัน หน้าสัมผัสควบคุมให้เปลี่ยนต าแหน่ง โดยรูปแสดงโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay) ดังรูปที่ 2.17

**รูปที่ 2.17** รูปแสดงโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay)
ที่มา : http://fb1-ct.lnwfile.com/_/ct/_raw/rm/40/z7.jpg

2.6.11 การคำนวนหาขนาดของสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน

2.6.11.1 พิกัดกระแสของมอเตอร์

ในการออกแบบหาขนาดสายวงจรมอเตอร์จำเป็นจะต้องทราบพิกัดกระแสของมอเตอร์ ขนาดของมอเตอร์ควรจะใช้เป็น kW มากกว่าHP(แรงม้า) พิกัดกระแสมอเตอร์หาได้จาก Name Plate โดยตารางแสดงพิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสและ 3 เฟส แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

2.6.11.2 วงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit)

ขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดมอเตอร์ได้ขนาดสายเล็กที่สุด คือ 1.5 $mm^2$ เนื่องจากโหลดมอเตอร์มีการใช้งานใน ลักษณะต่างๆ กัน ดังนั้นพิกัดกระแสของสายไฟ จึงต้องเลือกใช้ที่เหมาะสมกับลักษณะ การใช้งานของมอเตอร์ด้วย ซึ่งได้แบ่งเป็นกรณีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ใช้งานทั่วไป

โดยทั่ว ไปโหลดมอเตอร์จะถือว่าเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้น สายวงจรมอเตอร์จะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 125 % ของพิกัดกระแสมอเตอร์ IC ≥ 1.25 x In

โดยที่ IC = พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ ( A )

In = พิกัดกระแสของมอเตอร์ (A)

2.6.11.3 การป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit Protection)

วงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีการป้องกันการลัดวงจรสำหรับสายไฟฟ้าบริภัณฑ์ควบคุมและตัวมอเตอร์เองบริภัณฑ์สำหรับการป้องกันการลัดวงจร ของวงจรย่อยนี้จะต้อง สามารถนำกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ได้ โดยไม่เปิดวงจรบริภัณฑ์ป้องกันการลัดวงจรที่นิยม ใช้กัน คือ ฟิวส์ ( Fuse ) และ Circuit Breaker ( CB )

1) ฟิวส์ (Fuse )

ฟิวส์ที่ใช้ในการป้องกันการลัดวงจรของวงจร มอเตอร์มี 2 ประเภทคือ ฟิวส์ทำงานไว ( Non time-Delay Fuse ) และ ฟิวส์หน่วงเวลา ( Time-Delay Fuse )

• ฟิวส์ทำงานไวคือฟิวส์ที่ใช้ในวงจรจำหน่ายทั่วไป เช่น gL Fuse

•ฟิวสห์น่วงเวลาคือฟิวส์ที่ออกแบบไว้เพื่อใช้งานกับวงจรมอเตอร์โดย เฉพาะเช่น aM Fuseลักษณะสมบัติของฟิวส์ทำงานไว และ ฟิวส์หน่วงเวลาโดยแสดงลักษณะสมบัติ ฟิวส์งานไวและฟิวส์หน่วงเวลา

2) Circuit Breaker

CB ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์ มี2ประเภทคือ CBแบบเวลาผกผัน (Inverse Time CB) และ CBแบบปลดทันที (Instantaneous CB)

• CB แบบเวลาผกผัน คือ CB ที่ใช้ทั่วไปในวงจรจำหน่าย CB แบบนี้มีเส้นโค้งลักษณะสมบัติ 2 ช่วง คือ ช่วงกระแสเกินโหลดเป็นแบบเวลาผกผัน (Inverse Time) และช่วง กระแสปลดวงจรทันที (Instantaneous Trip) CB แบบนี้จะต้องปรับตั้งช่วงกระแสปลดวงจรทันทีให้มากกว่ากระแสเริ่มต้นของมอเตอร์ โดยแสดงลักษณะสมบัติเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน

• CB แบบปลดทันที คือ CB ที่ออกแบบส าหรับ ใช้กับวงจรมอเตอร์ โดยเฉพาะต้องปรับตั้งค่าให้สูงกว่าค่า Starting Current (Locked Rotor Current) ของมอเตอร์ โดย แสดงลักษณะสมบัติเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การทดสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า

สายไฟฟ้าทั้งหมดที่อยู่ภายในโรงงานไม่ว่าจะเป็นของ มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สวิตช์ หม้อแปลงไฟฟ้า ทั้งหมดเหล่านี้จะประกอบด้วยฉนวนไฟฟ้า ทองแดงหรืออะลูมิเนียมซึ่งใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่ฉนวนทางไฟฟ้าจะทำงานตรงกันข้ามกับตัวนำไฟฟ้า ทั้งนี้ฉนวนไฟฟ้าจะเป็นตัวต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า

ฉนวนที่ใช้หุ้มอยู่ล้อมรอบตัวนำนั้น เหมือนกับท่อน้ำประปาดังแสดงในรูปที่ 2.18 ความดันของน้ำนั้นเป็นเหตุให้น้ำไหลไปตามท่อดังรูปที่ 2.18 (a) ถ้าหากท่อน้ำเกิดรั่ว ก็จะสูญเสียปริมาณน้ำ และจะทำให้สูญเสียความดันน้ำ

**รูปที่ 2.18** เปรียบเทียบการรั่วของน้ำ (a) กับการรั่วไหลของกกระแสไฟฟ้า (b)

ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

ถ้าเปรียบเทียบสาเหตุนี้เทียบกับการไหลของกระแสไฟฟ้าไปตามตัวนำทองแดงดังรูปที่ 1(b) จะมีกระแสบางส่วนรั่วไหลผ่านฉนวนลงดินเป็นจำนวนเล็กน้อย (ΩA) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถทดสอบค่าความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่สูงเพียงพอที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านฉนวนไฟฟ้า กระแสที่ไหลผ่านฉนวนไฟฟ้าจำนวนเล็กน้อยนั้นก็เพราะมีฉนวนไฟฟ้าที่ดี แต่จะเป็นปัญหาต่อเมื่อฉนวนไฟฟ้าเสื่อมสภาพลง

### 2.7.1. ฉนวนไฟฟ้าที่ดี

ฉนวนไฟฟ้าที่ดี คำนี้เป็นผลมาจากค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสูง เป็นคำที่ใช้อธิบายวัสดุฉนวนไฟฟ้าที่ดี ดังนั้นต้องหาวิธีที่เหมาะสมในการวัดค่าความต้านทาน การตรวจสอบค่าความต้านทานของฉนวน ตามระยะช่วงเวลาสามารถตรวจสอบการเสื่อมสภาพของฉนวนได้จากกฎของโอห์ม

$$R = E/I$$

R = ความต้านทานหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E = แรงดันไฟฟ้าหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I = กระแสไฟฟ้าหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าจะมีค่าสูงมาก อาจจะสูงเป็นเมกะโอห์ม (Megohm) หรือ MΩ ($10^6$ Ω) กิกะโอห์ม (Gigohm) หรือ GΩ ($10^9$ Ω) หรือ เทราโอห์ม (Tera ohm) หรือ TΩ ($10^{12}$ Ω)

2.7.2 สาเหตุที่ทำให้ฉนวนไฟฟ้าแย่ลง

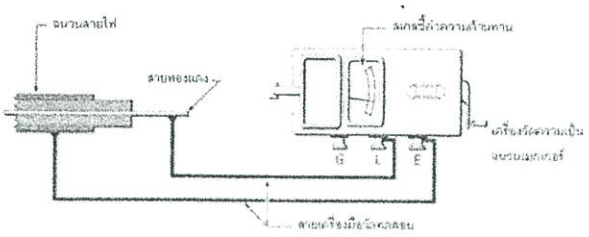
ความเสียหายของฉนวนไฟฟ้าเกิดจากความเสียหายทางกล การสั่น ความร้อนหรือความเย็นสูงเกิน, สิ่งสกปรก, น้ำมัน, ไอกัดกร่อน, ความชื้นหรือเปียก, ถูกเจาะ, แตกร้าว สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดความต้านทานฉนวนต่ำลง ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ในบางครั้งความต้านทานของฉนวน อาจจะตกลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นถูกน้ำท่วม แต่โดยปกติทั่วไปความต้านทานที่ค่อย ๆ ตกลงอย่างต่อเนื่องย่อมส่งสัญญาณเตือนถึงความเสียหายในที่สุด ถ้าความต้านทานฉนวนไฟฟ้ายิ่งแย่ลง ย่อมเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ซึ่งทำให้เป็นอันตรายต่อบุคคลที่อาจจะสัมผัสกับแรงดันไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและเกิดไฟไหม้เสียหายได้

2.7.3 วิธีการวัดค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า

เครื่องวัดความเป็นฉนวนเมกเกอร์ (Megger Insulation Tester) เป็นเครื่องวัดชนิดพกพา สามารถอ่านค่าความต้านทานฉนวนได้โดยตรง โดยมีย่านวัดการเป็นฉนวนที่ดี ย่านเมกะโอห์ม (M Ω) กิกะโอห์ม (G Ω) หรือ เทราโอห์ม (T Ω) เครื่องวัดความเป็นฉนวนเมกเกอร์ เป็นเครื่องมือวัดย่านความต้านทานสูง ๆ โดยมีการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC) อยู่ภายใน โดยมีขนาดแรงดันเลือกย่านได้ 500 V, 1,000 V, 2,500 V หรือ 5,000 V เครื่องวัดจะประกอบด้วยขดลวดแรงดัน และขดลวดกระแสแล้วอ่านค่าจริงออกมาเป็นโอห์ม วิธีการวัดดังกล่าวเป็นการวัดแบบไม่ทำลาย จึงไม่เป็นเหตุให้ฉนวนไฟฟ้าเสียหาย

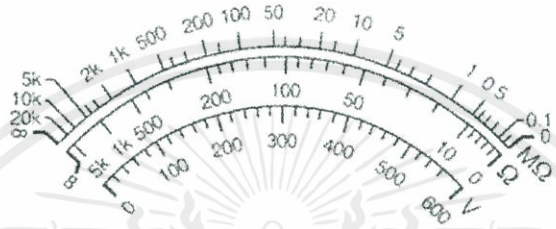
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเครื่องวัด อาจเป็นชนิดใช้มือหมุน เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2.19 กระแสที่ไหลในวงจรจ่ายมาจากแรงดัน 500 VDC หรือมากกว่า แล้ววัดค่าออกมาเป็นโอห์ม ดังรูปที่ 2.20 ย่านวัดซ้ายมือสุด 20 k Ω จนถึง $\alpha$ เป็นย่านอ่านความต้านทานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.19** เครื่องมือวัดความเป็นฉนวนเมกเกอร์แบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดมือหมุน (500 VDC หรือมากกว่านั้น)

ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377



**รูปที่ 2.20** สเกลย่านการวัดเครื่องวัดความเป็นฉนวนเมกเกอร์ ย่านขวามือสุด 0.1 Ω เป็นย่านค่าความต้านทานต่ำ ส่วนย่านซ้ายมือสุด 20 k Ω ถึง $\alpha$ หรือย่านความต้านทานสูง

ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

2.7.4 เหตุผลที่ต้องมีการทดสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า

โดยปกติการทดสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า ก็เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดไฟฟ้าดูด (Electrical Shocks) เพื่อเป็นการป้องกันบุคคล และเป็นการลดหรือจำกัดการหยุดการทำงาน การทดสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้าเป็นการตรวจจับการเสื่อมของฉนวน แล้วบันทึกลงในตารางการซ่อมแซม เช่น ทำความสะอาดด้วยสุญญากาศ, ทำความสะอาดด้วยไอน้ำ, การทำให้แห้งและการพันขดลวดใหม่ มันจะเป็นการช่วยการประเมินคุณภาพของการซ่อม ก่อนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะถูกนำกลับไปใช้งานอีกครั้งหนึ่ง

2.7.5 อุปกรณ์ไฟฟ้าอะไรที่ต้องทดสอบการเสื่อมของฉนวน

* หม้อแปลงไฟฟ้า (ขั้วต่อไฟฟ้ากับกราวด์)
* มอเตอร์ไฟฟ้า (ขั้วต่อไฟฟ้ากับกราวด์)
* สวิตช์เกียร์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์
* สวิตช์บอร์ด และศูนย์ควบคุมมอเตอร์
* สายเคเบิล
* ฉนวนและบุชชิ่ง

การทดสอบเพื่อการบำรุงรักษา จะช่วยให้ฉนวนยังคงมีคุณภาพ พื้นฐานหลักในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า คือการทดสอบฉนวนมอเตอร์, ทดสอบฉนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทดสอบฉนวนหม้อแปลงหรืออื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมืออะไรที่จำเป็นในการทดสอบ ค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า ?

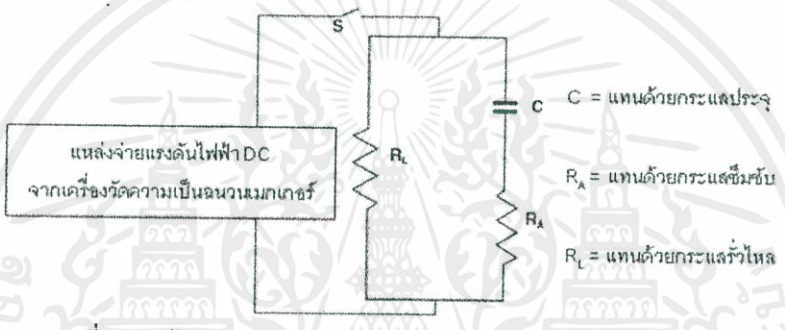
* เมกะโอห์มมิเตอร์ (Megohm Meter) โดยทดสอบตามเวลา

* ตรวจจับอุณหภูมิ (Thermometer)

* มิเตอร์วัดความชื้น (Humidity Meter) ไม่จำเป็นต้องใช้มิเตอร์วัดความชื้นเมื่อใช้ทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิเหนือจุดน้ำค้าง

2.7.6 ผลของตัวประกอบจากการอ่านค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า

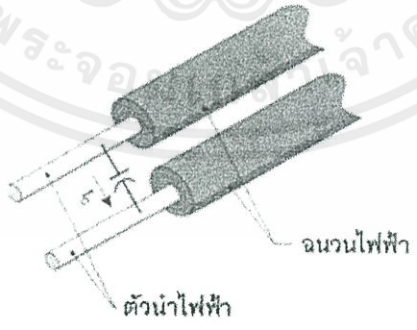
การวัดค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า เป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากเครื่องวัดความเป็นฉนวนเมกเกอร์ กับผลของกระแสที่ไหลผ่านไปในเนื้อของฉนวน (R=E/I) ดังรูปที่ 2.23 แสดงไดอะแกรมของการทดสอบการไหลของกระแสในฉนวน ผลรวมกระแส (Total Current) เป็นผลจาก 3 องค์ประกอบ ดังรูปที่ 2.23




**รูปที่ 2.21** ไดอะแกรมการทดสอบการไหลของกระแสในฉนวน

ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

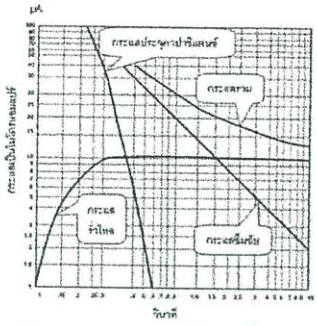
ก. กระแสประจุคาปาซิแตนซ์ (Capacitance Charging Current) เป็นกระแสเริ่มต้นประจุกระแสไฟฟ้าสูงสุดเกิน 100 Ω A ในเวลาสั้น ๆ 0.22 วินาที เมื่อประจุแรงดันจนเต็ม ค่ากระแสจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23




**รูปที่ 2.22** เกิดค่ากระแสประจุคาปาซิแตนซ์ (IC)

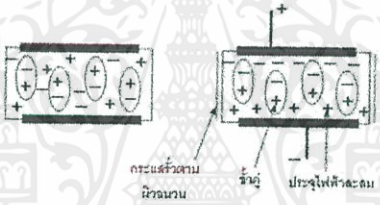
ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.23** เส้นโค้งที่แสดงองค์ประกอบของกระแสเมื่อทดสอบฉนวนไฟฟ้าด้วยไฟฟ้า DC
ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

ข. กระแสซึมซับ (Absorption Current) เป็นกระแสไหลเพื่อจัดโมเลกุลของวัสดุจะเริ่มต้นในเวลาช้ากว่ากระแสประจุคาปาซิแตนซ์ ดังรูปที่ 2.24 และเส้นโค้งในรูปที่ 2.23 ค่ากระแสซึมซับในช่วงจัดเรียงโมเลกุล 40 A 0.36 วินาที เมื่อเรียงโมเลกุลเรียบร้อยกระแสซึมซับจะลดลงอย่างช้า ๆ แต่ใช้เวลานานกว่ากระแสประจุคาปาซิแตนซ์




**รูปที่ 2.24** กระแสซึมซับเพื่อจัดโมเลกุลของวัสดุ และจัดเรียงขั้วให้ถูกต้อง
ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

ค. กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เกิดจากอิเล็กตรอนไหลผ่านความต้านทานฉนวนไฟฟ้า ถ้าเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีกระแสรั่วไหลจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น แล้วก็จะคงตัวอยู่ตลอด ดังรูปที่ 2.25

2.7.7 มาตรฐานแรงดันทดสอบ

มาตรฐานแรงดันทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

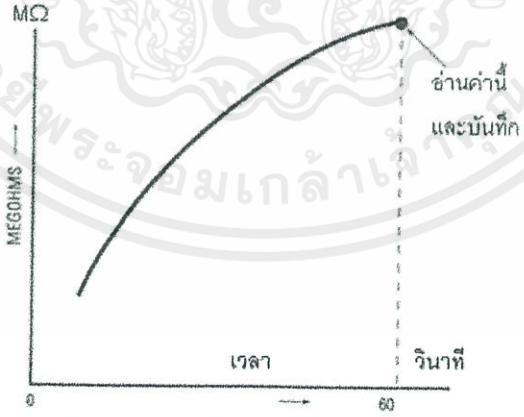
**ตารางที่ 2.7** มาตรฐานแรงดันทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

| **แรงดันทดสอบทั่วไป** | | **มาตรฐาน IEEE 43-2000 แรงดันทดสอบสำหรับมอเตอร์** | |
|---|---|---|---|
| พิกัดแรงดันอุปกรณ์ไฟฟ้า AC | ค่าแรงดันทดสอบ DC | พิกัดแรงดันอุปกรณ์ไฟฟ้า AC | ค่าแรงดันทดสอบ DC |
| อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เกิน 1,000 $V_{AC}$ | 500 $V_{DC}$ | มอเตอร์ไฟฟ้าไม่เกิน 1,000 $V_{AC}$ | 500 $V_{DC}$ |
| อุปกรณ์ไฟฟ้า 1,000 $V_{AC}$ – 3,300 $V_{AC}$ | 500 $V_{DC}$ – 1000 $V_{DC}$ | มอเตอร์ไฟฟ้า 1,000 $V_{AC}$ – 2,500 $V_{AC}$ | 500 $V_{DC}$ – 1,000 $V_{DC}$ |
| อุปกรณ์ไฟฟ้า 3,300 $V_{AC}$ – 6,600 $V_{AC}$ | 2500 $V_{DC}$ – 5000 $V_{DC}$ | มอเตอร์ไฟฟ้า 2,501 $V_{AC}$ – 5,000 $V_{AC}$ | 1,000 $V_{DC}$ – 2,500 $V_{DC}$ |
| อุปกรณ์ไฟฟ้ามากกว่า 6,600 $V_{AC}$ | 5000 $V_{DC}$ | มอเตอร์ไฟฟ้า 5,001 $V_{AC}$ – 1,2000 $V_{AC}$ | 2,500 $V_{DC}$ – 5,500 $V_{DC}$ |
| | | อุปกรณ์ไฟฟ้ามากกว่า 12,000 $V_{AC}$ | 5,000 $V_{DC}$ – 10,000 $V_{DC}$ |

2.7.8 วิธีการทดสอบความต้านทานฉนวนไฟฟ้า

เวลาที่ใช้วัดมีผลต่อความต้านทานฉนวนไฟฟ้า เราสามารถใช้เครื่องวัดฉนวนไฟฟ้า อ่านค่าการวัดได้ 3 วิธี

2.6.8.1 การทดสอบอ่านค่าลงเป็นจุด ๆ (Spot Reading Test) หรือ การทดสอบอ่านค่าเวลาสั้น (Short Time Reading) วิธีนี้ทำการต่อเครื่องวัดฉนวนไฟฟ้าเมกเกอร์คร่อมขนานกับฉนวนของขดลวดเครื่องจักรกลไฟฟ้า ทั้งนี้จะทำการจ่ายแรงดันทดสอบคงที่ในระยะเวลาหนึ่ง แล้วทำการอ่านบันทึกค่า ดังรูปที่ 2.25 โดยปกติจะใช้เวลาเริ่มทำการทดสอบ จนถึง 60 วินาที ค่าความต้านทานแต่ละจุดจะเพิ่มค่าขึ้นตามเวลา



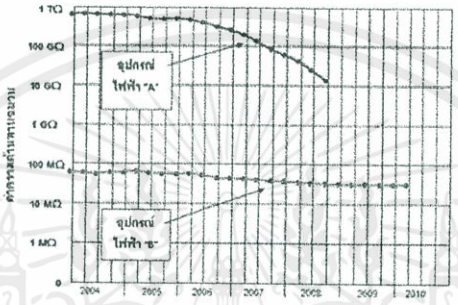

**รูปที่ 2.25** เส้นโค้งแสดงความต้านทานฉนวนไฟฟ้าตามเวลา ตามวิธีการทดสอบอ่านค่าลงเป็นจุด ๆ
ที่มา : ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

ก. สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการทดสอบ ด้วยวิธีนี้นอกจากต้องมีเครื่องวัดฉนวนไฟฟ้าเมกเกอร์แล้ว ยังต้องมีเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยปกติจะกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานที่ 20 °C และเครื่องวัดความชื้น (ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องมีเครื่องวัดความชื้นก็ได้ถ้าอุณหภูมิอุปกรณ์ไฟฟ้าทดสอบเหนือจุดน้ำค้าง ) ระยะเวลาการทดสอบ โดยปกติจะอ่านและบันทึกค่าหลังจาก 60 วินาที ผลที่ได้จะเปรียบเทียบกับค่าที่บันทึกในอดีต ที่ระยะเวลาทดสอบเดียวกัน

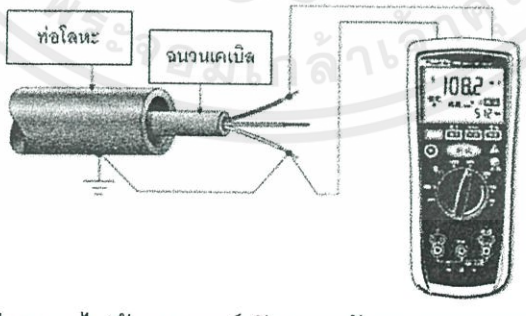
ข. การแปลผล ในการแปลผลที่ถูกต้อง การทดสอบอ่านค่าลงเป็นจุด ๆ จะต้องให้สอดคล้องกับผลบันทึกที่เป็นจากผลในอดีต ทั้งนี้เพื่อหาผลจากข้อสรุปนำมาใช้เป็นประโยชน์ การทดสอบดังกล่าวเหมือนกับการทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าภายในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้ต้องอยู่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้น นำค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าเหล่านี้มาพล็อตเป็นกราฟจากประวัติจากอดีตจนปัจจุบัน ดังรูปที่ 2.26 และรูปที่ 2.28




**รูปที่ 2.26** แสดงตัวอย่างค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

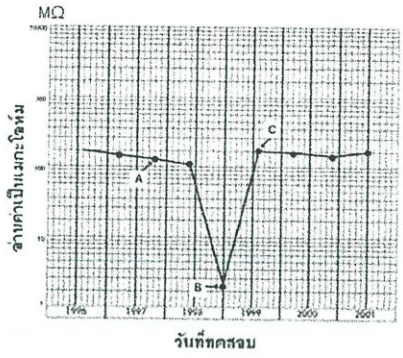
อุปกรณ์ไฟฟ้า A แม้ว่าช่วงแรก ๆ ค่าความต้านทานจะสูงมาก แต่หลังจากนั้น ค่าความต้านทานฉนวนเริ่มลดลงแต่ละปีไปเรื่อย ๆ ย่อมเป็นการส่งสัญญาณอันตราย
อุปกรณ์ไฟฟ้า B แม้ว่าค่าความต้านทานจะมีต่ำกว่า แต่เมื่อใช้งานไปเรื่อย ๆ ค่าความต้านทานฉนวนค่อนข้างเสถียร แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการบำรุงรักษาอย่างดี




**รูปที่ 2.27** การต่อเครื่องวัดฉนวนไฟฟ้าเมกเกอร์ วัดความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าเทียบกับท่อโลหะ (กราวด์)

ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

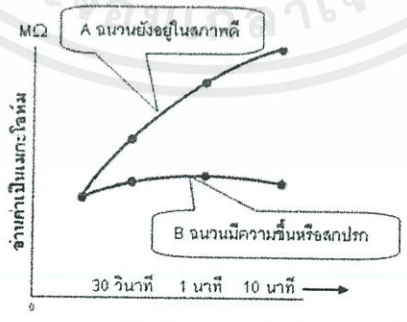



**รูปที่ 2.28** แสดงตัวอย่างค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้าของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงจากอดีตจนปัจจุบัน
ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

39393939

จุด A ผลการใช้งานตามอายุ และฝุ่นสกปรกแสดงให้เห็นค่าความต้านทานฉนวนเริ่มลดลง
จุด B เส้นกราฟตกลงเป็นปลายแหลมชี้ให้เห็นว่าฉนวนไฟฟ้ามีความเสียหาย
จุด C ค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า หลังจากซ่อมมอเตอร์ AC การพันขดลวดใหม่
ดังนั้นจุด B จะชี้ให้เห็นการสูญเสียค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้า อันมีสาเหตุมาจากความชื้น, ฝุ่นสกปรก หรืออื่น ๆ จากเส้นกราฟปลายแหลมที่ตกลงมาชี้ให้เห็นว่าฉนวนมีความเสียหาย

2.6.8.2 วิธีการทดสอบเวลา-ความต้านทาน (Time–resistance Testing Method) การทดสอบวิธีนี้จะไม่คำนึงถึงอุณหภูมิ เป็นการวัดค่าการซึมซับของฉนวนที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนที่ชื้นหรือมีสิ่งสกปรกปนเปื้อนในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 2.31 ฉนวนไฟฟ้าที่ดี จะแสดงให้เห็นค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กระแสซึมซับต่ำดังเส้นโค้ง A) อ่านค่าความต้านทานฉนวนไปตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (30 วินาที - 10นาที) สาเหตุดังกล่าวเกิดจากกระแสซึมซับ โดยแสดงการเริ่มประจุไปจนถึงระยะเวลานานขึ้น เมื่อประจุเต็มกระแสจะลดลง โดยที่ความต้านทานจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงจะเรียกว่าเป็นฉนวนที่ดี แต่ถ้าฉนวนมีความชื้นหรือสกปรก ค่ากระแสรั่วไหลจะสูงขึ้น ความต้านทานจะลงลงจนอยู่ที่ค่าค่อนข้างคงที่ (เส้นโค้ง B)

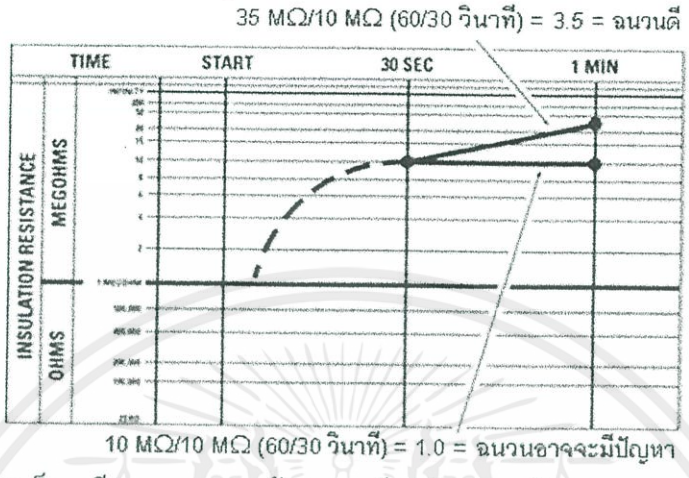



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างเส้นโค้งที่แสดงผลการซึมซับทางไดอิเล็กตริก เมื่อทำการทดสอบวิธีเวลา–ความต้านทาน

ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบค่าเวลา–ความต้านทานจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ความต้านทานจะสูงขึ้นก็ต่อเมื่อฉนวนสะอาดและแห้ง ไม่ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าจะเล็กหรือใหญ่ จะมีค่าเดียวกัน เราสามารถเปรียบเทียบมอเตอร์หลาย ๆ ตัว ในรูปที่ 2.30 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบเวลา 60 วินาที ฉนวนที่ดี ความต้านทานจะมีค่าสูงกว่า เมื่อเทียบกับเวลา 30 วินาที




**รูปที่ 2.30** เส้นโค้งพล็อตเทียบเวลา-ความต้านทานเทียบกับฉนวนดี DAR =3.5 และฉนวนอาจจะมีปัญหา DAR =1.0

ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

ก. อัตราส่วนการซึมซับไดอิเล็กตริก (Dielectric Absorption Ratio) หรือ DAR เป็นอัตราส่วน 2 ค่าเวลาความต้านทานฉนวนที่ 60 วินาทีกับ 30 วินาที (60/30) เราเรียกว่าอัตราส่วนการซึมซับไดอิเล็กตริก โดยคุณภาพของฉนวนตามอัตราส่วนในตารางที่ 2.8

ข. ดัชนีโพลาไรเซชัน (Polarization Index) หรือดัชนีการจัดเรียงขั้ว ดังรูปที่ 2.24 หรือเรียกค่าย่อ ๆ ว่า PI ค่านี้เป็นเป็นอัตราส่วน 2 ค่าเวลาความต้านทานฉนวนที่ 10 นาทีกับ 1 นาที (อัตราส่วน10/1 - นาที) ทั้งนี้คุณภาพฉนวนยังดีอยู่หรือไม่ ดังในตารางที่ 2.8 และตารางที่ 2.9

**ตารางที่ 2.8** สภาพของฉนวนกำหนดจากค่า DAR และค่า PI*

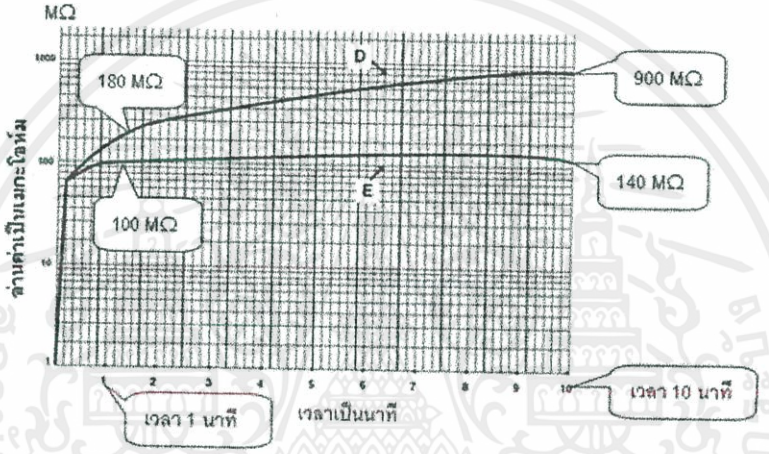
| สภาพของฉนวน | DAR (60/30 - วินาที) | PI (10/1 - นาที) |
|---|---|---|
| อันตราย | 0 – 1.0 | ต่ำกว่า 1.0 |
| ฉนวนอาจจะมีปัญหา | 1.1 – 1.25 | 1.0 – 2.0 |
| ฉนวนดี | 1.4 – 1.6 | 2.0 – 4.0 |
| ฉนวนดีเยี่ยม | มากกว่า 1.6 | มากกว่า 4.0 |

* ค่าเหล่านี้เป็นเพียงค่าประมาณการท่านั้น ต้องอาศัยประสบการณ์และข้ออื่น ๆ ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.9** ค่า PI ต่ำสุดของมอเตอร์ไฟฟ้า AC และ DC (มาตรฐาน IEEE 43-2000 และ IEEE 1-2000)

| คลาสความร้อน | คลาสอุณหภูมิฉนวน °C | ค่า PI (ต่ำสุด) |
|---|---|---|
| A | 105 | 1.5 |
| B | 130 | 2.0 |
| C | มากกว่า 250 | 2.0 |
| F | 155 | 2.0 |
| H | 180 | 2.0 |




เส้นโค้ง D ค่า PI = 900 M Ω /180 M Ω (10/1-นาที) = 5 จากตารางที่ 2 เป็นค่าฉนวนดีเยี่ยม

เส้นโค้ง E ค่า PI = 140 M Ω /100 M Ω (10/1-นาที) = 1.4 จากตารางที่ 2 ฉนวนอาจจะมีปัญหา

**รูปที่ 2.31** แสดงตัวอย่างการทดสอบค่า PI ของมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 350 HP

ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

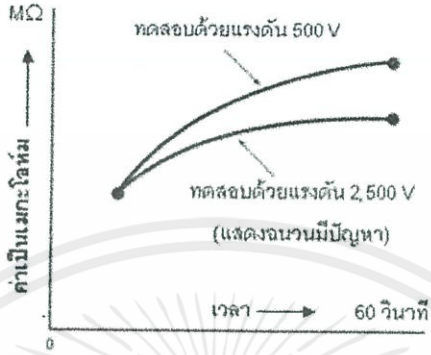
**ตารางที่ 2.10** ข้อพิจารณาในการทดสอบค่า DAR และค่า PI

| ค่า DAR | ค่า PI |
|---|---|
| 1. ไม่จำเป็นต้องพิจารณาอุณหภูมิ | 1. ไม่จำเป็นต้องพิจารณาอุณหภูมิ |
| 2. ประเมิณผลได้ไม่ต้องใช้ข้อมูลอดีตมาพิจารณา | 2. ประเมิณผลได้ไม่ต้องใช้ข้อมูลในอดีตมาพิจารณา |
| 3. ทดสอบได้ดีกับอุปกรณ์ไฟฟ้าฉนวนบางๆ | 3. คุณภาพฉนวนขึ้นอยู่กับความชื้นและสิ่งสกปรก |
| 4. ต้องเป็นวัสดุกระแสซึมซับต่ำเช่น โพลีเอทิลีน (Polyethylene) | 4. การทดสอบไม่มีผลกระทบกับอุปกรณ์เล็กหรือใหญ่ |
| 5. คุณภาพฉนวนความชื้นอยู่กับความชื้นและสิ่งสกปรก | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8.3 วิธีทดสอบแรงดันเป็นขั้น(Step Voltage Test method)

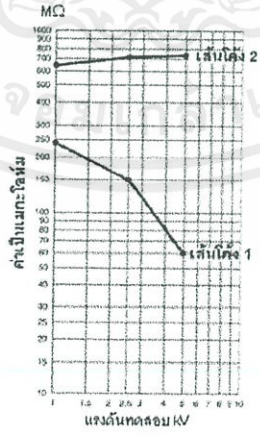
วิธีนี้จำเป็นต้องใช้แรงดันหลายระดับจากเครื่องวัดความต้านทานฉนวนเมกเกอร์ จ่ายแรงดัน 2 ระดับ หรือมากกว่านั้น ในสัดส่วน 1 ถึง 5 เช่น 500V ถึง 2,500 V ในเวลา 60 วินาที แล้วสังเกตดู เมื่อป้อนแรงดันสูงกว่า ปรากฏว่าค่าความต้านทานฉนวนลดลง เป็นสิ่งเตือนว่าฉนวนเริ่มมีปัญหา




**รูปที่ 2.32** เส้นโค้งการทดสอบแรงดันเป็นขั้น

ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

ดังในรูปที่ 2.32 เป็นตัวอย่างแสดงการทดสอบในตอนแรกป้อนแรงดันต่ำ (500 V) ภายหลังจากการคายประจุแล้ว ทำการป้อนค่าแรงดันที่สูง (2,500V) ถ้าเกิดค่าความแตกต่างความต้านทานฉนวนของ 2 ระดับแรงดันการทดสอบ ทั้งนี้ถ้าแสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานฉนวน เมื่อป้อนแรงดันที่สูงกว่ากับมีความต้านทานฉนวนต่ำกว่า ย่อมเป็นผลชี้เตือนในอนาคตว่าฉนวนเริ่มมีปัญหา การทดสอบแรงดันเพิ่มขึ้นใช้เวลาอันสั้น ๆ แต่สามารถทำนายว่าฉนวนอาจมีความชื้น หรือสกปรก ต้องทำการบำรุงรักษา ดังรูปที่ 2.33 อย่างไรก็ตามผลของความมีอายุฉนวน หรือความเสียหายทางกล การทำความสะอาดและทำให้ฉนวนแห้ง ไม่ช่วยให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้




**รูปที่ 2.33** กราฟแสดงก่อนและหลังการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้า

ที่มา : ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโค้ง 1 ก่อนบำรุงรักษา เริ่มต้นป้อนแรงดัน 1 kV ค่าความต้านทานฉนวน 240 M Ω จนถึง 5 kV ค่าความต้านทานฉนวนลดลงเหลือ 60 M Ω แสดงว่าฉนวนมีปัญหา

เส้นโค้ง 2 หลังการบำรุงรักษา (มอเตอร์ไฟฟ้าตัวเดียวกัน ทำความสะอาดและเข้าเตาอบ) ค่าความต้านทานฉนวน 640 M Ω (1 kV 60 sec.), 700 M Ω (2.5 kV 60 sec.) และ 720 M Ω (5 kV 60 sec.) ค่าความต้านทานฉนวนสูงขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าฉนวนอยู่ในสภาพดี

2.7.9 ผลของอุณหภูมิเมื่อทำการทดสอบความต้านทานฉนวนไฟฟ้า

ความต้านทานของวัสดุฉนวนจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการทดสอบเวลา-ความต้านทาน และวิธีการทดสอบแรงดันเป็นขั้นจะไม่มีผลต่ออุณหภูมิ ผลที่ได้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากการวัดค่าความต้านทานฉนวนที่อุณหภูมิในเวลานั้นเทียบกับอุณหภูมิมาตรฐาน (20 °C) ดังนี้

Kt = เป็นค่าแฟกเตอร์ชดเชยดังนี้คือ ทุก ๆ อุณหภูมิ 10 °C ที่เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานจะลดลงเป็น 2 เท่า หรือถ้าทุก ๆ อุณหภูมิ 10 °C ที่ลดลง ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า อย่างไรก็ตามวัสดุฉนวนแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงซึ่งสามารถหาจากตารางที่ 2.11 ค่าแฟกเตอร์อุณหภูมิมาตรฐาน (Temperature Correction Factor) ซึ่งเป็นแฟกเตอร์ที่อุณหภูมิมาตรฐาน (20 °C) ใช้ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าและหม้อแปลง สำหรับสายเคเบิล ใช้กับอุณหภูมิมาตรฐาน (15.6 °C) ค่าแฟกเตอร์อุณหภูมิมาตรฐานจากสมการดังนี้

$$Kt \times R_{Reading} = R_{Corrected\ Temperature\ 20\ °C}$$

เช่นมอเตอร์ไฟฟ้า ฉนวนคลาส A อ่านค่าความต้านทานฉนวนได้ 2 M Ω 40 °C (ที่ขดลวด) ค่าความต้านทานฉนวนตามมาตรฐาน (20 °C) จะมีค่าเท่าใด

จากตารางที่ 2.11 อ่านค่าอุณหภูมิ 40 °C ความต้านทานฉนวนคลาส A ค่าแฟกเตอร์อุณหภูมิมาตรฐานเท่ากับ 4.8 ค่าความต้านทานฉนวนตามมาตรฐาน (20 °C) จะมีค่าเท่ากับ 9.6 M Ω ในรูปที่ 2.35 และรูปที่ 2.36 แสดงค่าค่าความต้านทานฉนวน

$$Kt \times R_{Reading} = R_{Corrected\ Temperature\ 20\ °C}$$

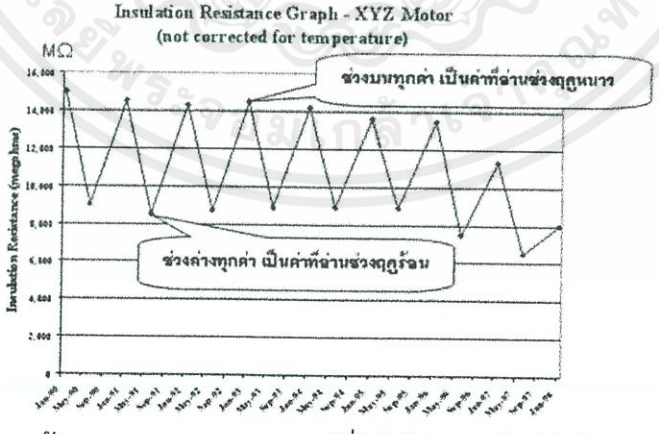
$$4.8 \times 2\ M\Omega = 9.6\ M\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.11** ค่าแฟกเตอร์อุณหภูมิมาตรฐาน (Corrected Temperature 20 °C )*

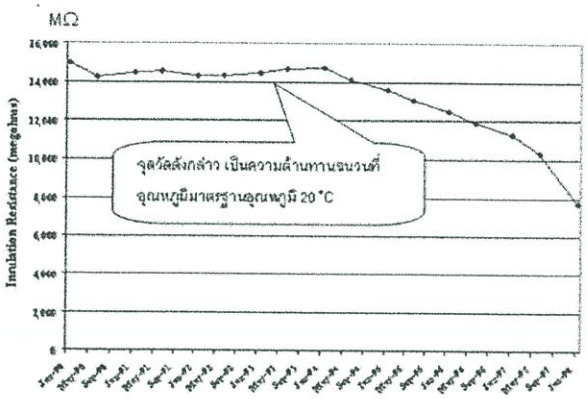
| TEMP. | | ROTATING EQUIP. | | OIL-FILLED TRASFORMERS | CABLE | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °C | °F | CLASS A | CLASS B | | CODE NATURAL | CODE GR-S | PREFORMANCE NATURAL | HEEAT RESIST. NATURAL | HEEAT RESIST. PREFOEM GR-S | OZONE RESIST. NATURAL FR-S | VARNISHED VAMVRIC | IMPREGNATED PAPER |
| 0 | 32 | 0.21 | 0.40 | 0.25 | 0.25 | 0.12 | 0.47 | 0.42 | 0.22 | 0.14 | 0.10 | 0.28 |
| 5 | 40 | 0.31 | 0.505 | 0.36 | 0.40 | 0.23 | 0.60 | 0.556 | 0.37 | 0.26 | 0.20 | 0.43 |
| 10 | 50 | 0.45 | 0.63 | 0.50 | 0.61 | 0.46 | 0.76 | 0.73 | 0.58 | 0.49 | 0.43 | 0.64 |
| 15.6 | 60 | 0.71 | 0.81 | 0.74 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 20 | 68 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.47 | 1.83 | 1.24 | 1.28 | 1.53 | 1.75 | 1.94 | 1.43 |
| 25 | 77 | 1.48 | 1.40 | 1.40 | 2.27 | 3.67 | 1.58 | 1.68 | 2.48 | 3.29 | 4.08 | 2.17 |
| 30 | 86 | 2.20 | 1.98 | 1.98 | 3.52 | 7.32 | 2.00 | 2.24 | 4.03 | 6.20 | 8.62 | 3.20 |
| 35 | 95 | 3.24 | 2.80 | 2.80 | 5.45 | 14.60 | 2.55 | 2.93 | 6.53 | 11.65 | 18.20 | 4.77 |
| 40 | 104 | 4.80 | 3.95 | 3.95 | 8.45 | 29.20 | 3.26 | 3.85 | 10.70 | 25.00 | 38.50 | 7.15 |
| 45 | 113 | 7.10 | 5.60 | 5.60 | 13.10 | 54.00 | 4.15 | 5.08 | 17.10 | 41.40 | 81.00 | 10.70 |
| 50 | 122 | 10.45 | 7.85 | 7.85 | 20.00 | 116.00 | 5.29 | 6.72 | 27.85 | 78.00 | 170.00 | 16.00 |
| 55 | 131 | 15.50 | 11.20 | 11.20 | | | 6.72 | 8.83 | 45.00 | | 345.00 | 24.00 |
| 60 | 140 | 22.80 | 15.85 | 15.85 | | | 8.85 | 11.62 | 73.00 | | 775.00 | 36.00 |
| 65 | 149 | 34.00 | 22.40 | 22.40 | | | | 15.40 | 118.00 | | | |
| 70 | 158 | 50.00 | 31.75 | 31.75 | | | | 20.30 | 193.00 | | | |
| 75 | 167 | 74.00 | 44.70 | 44.70 | | | | 26.60 | 313.00 | | | |

* แฟกเตอร์อุณหภูมิมาตรฐาน 20 °C สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าและหม้อแปลง ส่วนแฟกเตอร์อุณหภูมิมาตรฐาน 15.6 °C สำหรับสายเคเบิล




**รูปที่ 2.34** เป็นค่าความต้านทานฉนวนของมอเตอร์ที่ไม่ได้มีการแก้ไขให้เป็นอุณหภูมิมาตรฐาน 20°C
ที่มา :ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 2.35 เป็นค่าความต้านทานฉนวนของมอเตอร์ที่แก้ไขเป็นอุณหภูมิมาตรฐาน 20 °C ทั้งหมดแล้ว ของมอเตอร์ที่อ่านได้ทั้งไม่ได้มีการแก้ไขและมีการแก้ไขให้เป็นอุณหภูมิมาตรฐานที่ 20 °C

ที่มา : ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377

### 2.7.10. ผลของความชื้น

การเพิ่มขึ้นของความชื้นในอากาศโดยรอบ มีผลต่อความต้านทานฉนวน เนื่องจากผลของความชื้น แต่จะไม่มีผลต่อค่าความต้านทานฉนวนที่อ่านได้ในกรณีที่อุปกรณ์ไฟฟ้ามีอุณหภูมิเหนือจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) แต่ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง จะมีไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวเหตุดังกล่าวย่อมเป็นผลต่อค่าความต้านทานฉนวน ดังนั้นการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อความถูกต้องจึงต้องทดสอบที่อุณหภูมิเหนือจุดน้ำค้าง

### 2.8 การประเมิณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์หรือระบบใช้การทำงานมักจะ พิจารณา โดยการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาจาก ผลตอบแทนที่ได้รับมากที่สุด หรือค่าใช้จ่ายต่ำสุด หรือระยะเวลา คืนทุนเร็วที่สุด

**วิธีการประเมิณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์**

2.8.1.ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสม จากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด โครงการใดที่มีระยะเวลาลงทุนยิ่งสั้นยิ่งมีความต้องการสูง เนื่องจากสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นๆได้ ระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้จะ เป็นแบบวิธีระยะคืนทุนแบบง่าย (simple payback period : SPB) ซึ่งเป็นวิธีคิดง่ายๆ โดย ระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณจาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)} = \frac{\text{มูลค่าในการลงทุนรวม}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิสะสม}}$$

**การพิจารณา SPP จะไม่นำเรื่องของมูลค่าเงินที่เปลี่ยนไปมาคิด**

ข้อดี-ข้อเสียของวิธีระยะเวลาคืนทุน

ข้อดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.คำนวณได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

2.ทำให้ทราบสภาพคล่องของโครงการ โดยโครงการที่คืนทุนเร็ว ย่อมมีสภาพคล่องสูงกว่า

3.เป็นตัววัดความเสี่ยงของโครงการได้ โดย โครงการที่คืนทุนเร็ว ย่อมมีความเสี่ยงน้อย กว่า

ข้อเสีย

1.ไม่ได้คำนึงถึงกระแสเงินสดภายหลังจากการคืนทุน แล้ว

2. ไม่ได้คำนึงถึงค่าของเงินในระยะเวลาที่ต่างกันว่ามี ค่าไม่เท่ากัน

3.ไม่คำนึงถึงความเสี่ยงของกระแสเงินสดที่จะได้รับใน อนาคต

4.ไม่มีเกณฑ์การตัดสินใจที่บ่งชี้ให้เห็นว่าการลงทุน นั้น ๆ มีส่วนเพิ่มมูลค่าของกิจการอย่างไร

2.8.2.วิธีระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (Discount Payback period :DPB)

เป็นการพิจารณาระยะเวลาคืนทุนคล้ายๆแบบ SPB แต่แตกต่างกันตรงที่คิดเรื่องมูลค่าของเงินตามกาลเวลาด้วย โดยจะคิดมูลค่าเงินสุทธิในแต่ละปีมาให้มีมูลค่าเทียบเท่าเงิน ปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้มูลค่าเงินในส่วนที่เป็นกำไรหรือรายได้ในแต่ละปีมีค่าไม่เท่ากัน

ข้อดี-ข้อเสียของวิธีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ

ข้อดี

1. พิจารณาเรื่องค่าของเงินในเวลาที่ต่างกัน

2. ทำให้ทราบสภาพคล่องของโครงการ โดยโครงการที่คืนทุนเร็ว ย่อมมีสภาพคล่อง สูงกว่า

3. เป็นตัววัดความเสี่ยงของโครงการได้ โดยโครงการที่คืนทุนเร็ว ย่อมมีความเสี่ยงน้อย กว่า

ข้อเสีย

1. ไม่ให้ความสำคัญแก่กระแสเงินสดที่จะได้รับ ภายหลังระยะเวลาคืนทุน

2. ต้องใช้ต้นทุนเงินทุนที่ประมาณขึ้นสำหรับการ คำนวณมูลค่าปัจจุบัน

3. ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แสดงให้เห็นชัดเจนถึงการ เพิ่มขึ้นของมูลค่าของกิจการจากการลงทุนที่ พิจารณา

2.8.3.มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ(Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบัน (Present worth : PW), (Present value: PV) or (Net present value: NPV) ของ เงินลงทุน (Cost) หรือผลตอบแทน (Revenue) ของแต่ละทางเลือกในการดำเนินโครงการใดๆสามารถ นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่าในการลงทุนได้ ทั้งนี้มูลค่าปัจจุบันขององค์ประกอบในการดำเนิน โครงการ อาจแปลงมาจากมูลค่าในอนาคต หรือมูลค่าสม่ำเสมอรายปีก็ได้ การเปรียบเทียบโครงการ ด้วยการวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปคือ การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกโครงการต่างๆ โดยการ แปลงค่าของเงินที่ช่วงเวลาต่างๆ มาที่ปีปัจจุบันแล้วทำการเปรียบเทียบกันว่าโครงการใดใช้ ค่าใช้จ่ายต่ำสุด หรือได้กำไรสูงสุดจึงเลือกโครงการนั้น

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

โดย NPV = มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการ

Bt = มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t

Ct = มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t

i = อัตราคิดลด (Discount Rate) หรืออัตราดอกเบี้ย

t = ปีของโครงการ คือปีที่ 0,1,2,.....,n

n = อายุของโครงการปีที่ 0 คือ ปีที่มีการลงทุนเริ่มแรก(Initial Investment)

ข้อดี-ข้อเสียของวิธีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ

ข้อดี

1. รู้สึกถึงมูลค่าของกิจการที่เพิ่มขึ้นจากการ ลงทุน
2. พิจารณากระแสเงินสดที่เกี่ยวข้องตลอด ทั้งโครงการ
3. พิจารณาค่าของเงินในเวลาที่ต่างกัน
4. พิจารณาความเสี่ยงของกระแสเงินสดใน อนาคต

ข้อเสีย

1. ต้องประมาณการอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ เพื่อใช้ในการคำนวณ
2. แสดงออกมาเป็นจำนวนเงินซึ่งอาจจะเข้าใจ ยากกว่าแสดงเป็นอัตราร้อยละ
3. เป็นการสมมติให้กระแสเงินสดสุทธิที่ได้รับในแต่ละปีนำไปลงทุนต่อโดยได้รับอัตราผลตอบแทนเท่ากับอัตรา ผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการซึ่งคงที่ตลอดอายุ โครงการ ซึ่งความจริงอาจไม่เป็นเช่นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินการวิจัย

การทำวิจัยเรื่อง การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน ได้แบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ โดยจัดทำการศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อกำจัดและลดความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อทำการลดการใช้พลังงานของโรงงานเป็นส่วนในการช่วยในการลดต้นทุนการผลิตลงได้ในอนาคต

## 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยและหาแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโรงงานโดยรวมในครั้งนี้ได้กำหนดแผนในการดำเนินงานโดนแบ่งเป็น 2 ตอน มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

1. ทำการสำรวจระบบต่างๆของโรงงานและเก็บรวบรวมข้อมูลในการใช้พลังงานในส่วนต่างๆของโรงงาน
2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่สิ้นเปลืองภายในระบบต่างๆที่โรงงานมีการใช้งานอยู่เพื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมในการใช้หลังงานของโรงงาน
3. กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการจำกัดความสูญเสียที่ไม่จำเป็น เพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิต
4. ดำเนินกิจกรรมจากการศึกษาการเพิ่มความเสถียรภาพของระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

    4.1 สำรวจภาระทางไฟฟ้าและอุปกรณ์ชุดควบคุมทั้งหมดของระบบน้ำที่โรงงานมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

    4.2 ตรวจสอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีการใช้งานว่ามีการใช้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแก่การใช้งาน และอุปกรณ์มีความสมบูรณ์ที่สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยหรือไม่

    4.3 ออกแบบระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำใหม่ให้มีความเหมาะสม สะดวกและปลอดภัยต่อผู้ใช้งานโดยอ้างอิงจาก มาตราฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556
5. วัดผลโดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานโดยรวมในระบบแสงสว่างในโรงชำแหละก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์ให้แสงสว่างพร้อมทั้งหาเงินลงทุนและจุดคุ้มทุนในการลงทุนครั้งนี้
6. สรุปผลการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ

1. ทำการสำรวจระบบต่างๆของโรงงานและเก็บรวบรวมข้อมูลในการใช้พลังงานในส่วนต่างๆของโรงงาน
2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่สิ้นเปลืองภายในระบบต่างๆที่โรงงานมีการใช้งานอยู่เพื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมในการใช้หลังงานของโรงงาน
3. กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการเพิ่มความเสถียรภาพของระบบที่สำคัญกับการผลิตของโรงงาน เพื่อช่วยทำให้การดำเนินการผลิตสามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง
4. ดำเนินกิจกรรมจากการศึกษาการจำกัดความสูญเสียที่ไม่จำเป็นในส่วนของระบบแสงสว่างภายในโรงเชือด

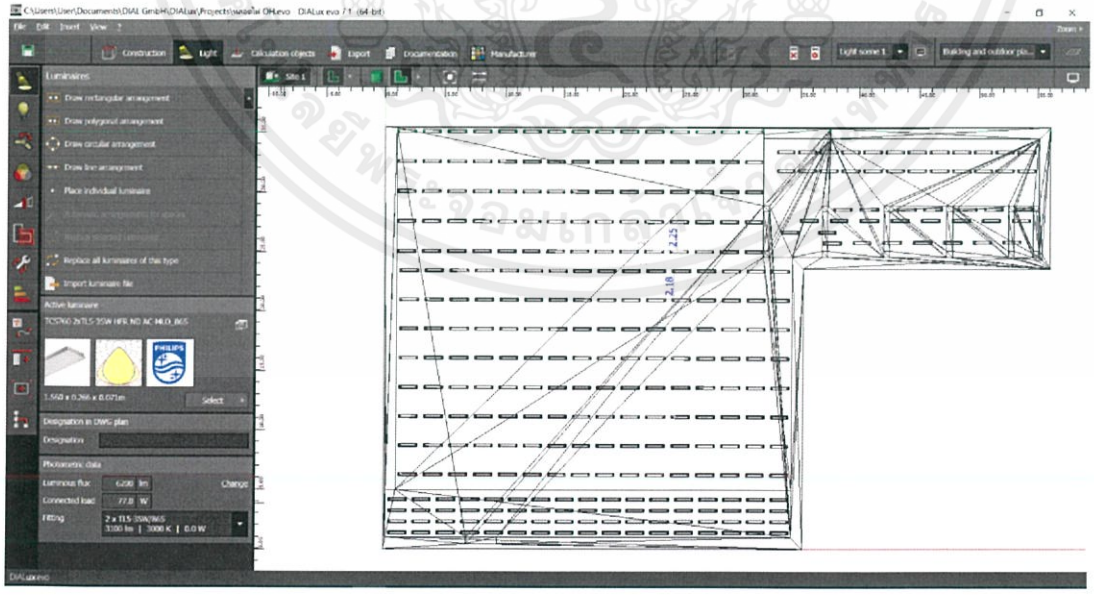
    4.1 สำรวจการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างโรงชำแหละในปัจจุบันพร้อมสร้างแบบจำลองการติดตั้งระบบแสงสว่างเดิมโดยใช้โปรแกรม DIALux evo

    4.2 ศึกษาหลอดไฟชนิดต่างๆ เพื่อหาหลอดไฟที่ประหยัดพลังงานและเหมาะสมกับการใช้งานในบริเวณที่มีความต่างของอุณหภูมิสูงและมีความชื้นมากในบรรยากาศ

    4.3 คำนวณจำนวนหลอดไฟที่ต้องใช้เพื่อให้มีความเข้มแสงที่เหมาะสมกับการใช้งานที่กำหนดโดย กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน
5. สรุปผลการดำเนินงาน

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

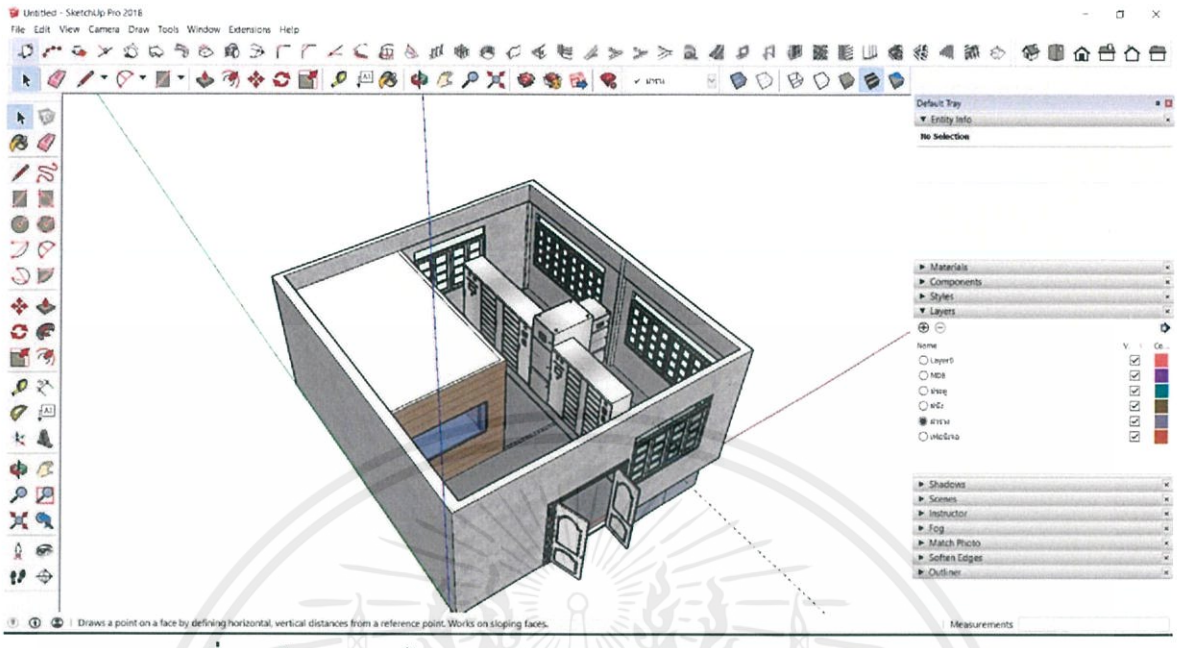
1. โปรแกรมสร้างแบบจำลองความเข้มแสง DIALux evo



**รูปที่ 3.1** โปรแกรมสร้างแบบจำลองความเข้มแสง DIALux evo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โปรแกรมสร้างแบบจำลองการ 3 มิติ Sketchup PRO 2018



**รูปที่ 3.2** โปรแกรมสร้างแบบจำลองการ 3 มิติ Sketchup PRO 2018

3. ข้อมูลการใช้พลังงานของระบบแสงสว่างที่ได้จากการวัดก่อนการปรับปรุงระบบส่องสว่าง
4. ข้อมูลการใช้พลังงานของระบบแสงสว่างที่ได้จากการวัดหลังการปรับปรุงระบบส่องสว่าง
5. กราฟแท่ง ( Pareto chart )
6. เครื่องทดสอบความเป็นฉนวน รุ่น insulation test fluke 1587
7. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า รุ่น Clamp Meter Fluke 323
8. ตารางสำรวจระบบจำหน่ายแรงดันต่ำระบบน้ำ

**ตารางที่ 3.1** ตารางสำรวจระบบจำหน่ายแรงดันต่ำระบบน้ำ

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั๊มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาค้นคว้าและทำการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อที่จะจัดการและอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่างและระบบจำหน่ายแรงดันต่ำระบบน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ ดังนั้นการเก็บข้อมูลในการทดลองจึงได้แบ่งเป็น 2 ตอนตามการวิจัยดังนี้

ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

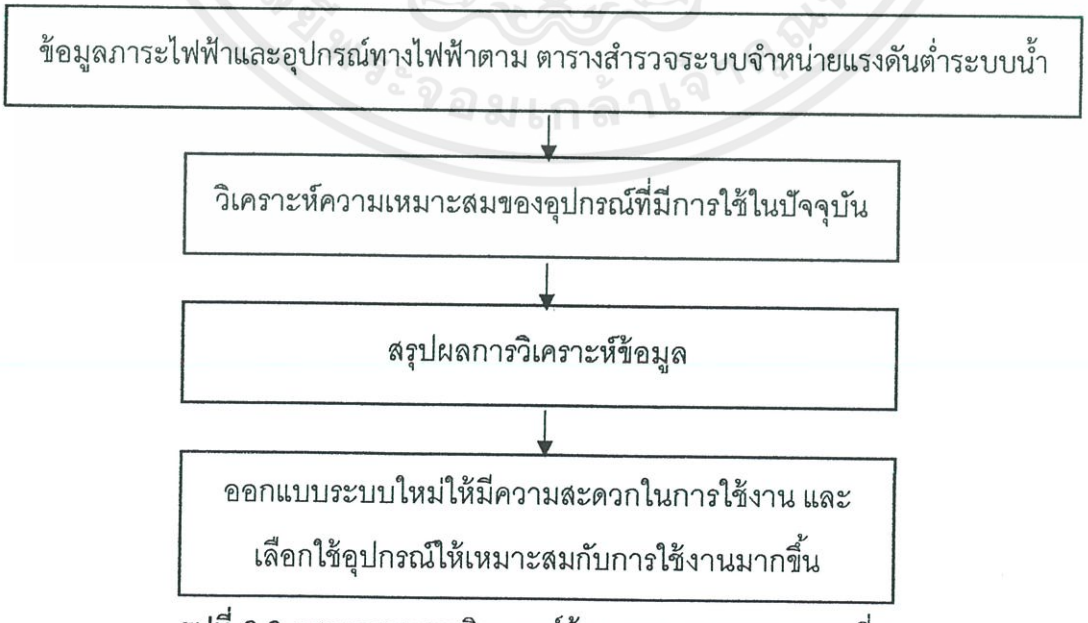
1. การเก็บข้อมูลภาระไฟฟ้าและอุปกรณ์ทางไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแรงดันต่ำระบบน้ำของโรงงาน โดยแบ่งออกเป็น ระบบน้ำประปา และ ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งระบบน้ำประปามีระบบสำรองไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำมัน พร้อมทั้งมีระบบไฟฟ้าของบ่อหมักชีวภาพ
2. การเก็บข้อมูลคุณสมบัติความเป็นฉนวนของ สายไฟฟ้า มอเตอร์ ปั๊มน้ำ และขนาดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้ในระบบ

ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ

1. การเก็บข้อมูลจำนวนหลอดไฟที่ใช้ในโรงชำแหละและความเข้มแสงก่อนการปรับปรุงขณะมีการผลิตพร้อมทั้งกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต่อวงจร
2. การเก็บข้อมูลจำนวนหลอดไฟที่ใช้ในโรงชำแหละและความเข้มแสงหลังการปรับปรุงขณะมีการผลิตพร้อมทั้งกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต่อวงจร

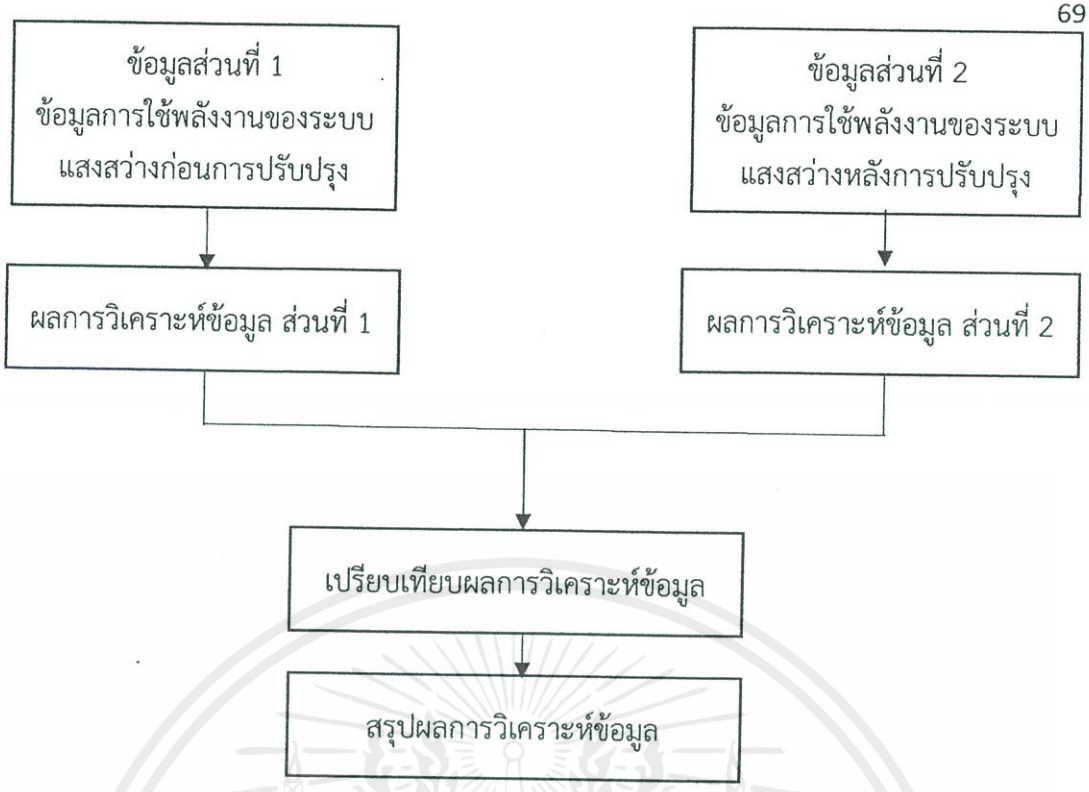
### 3.4 การวิเคราะห์และศึกษาข้อมูล

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลดังกรอบของการวิเคราะห์ขอมูลดังต่อไปนี้




**รูปที่ 3.3** แสดงกรอบการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.4** แสดงกรอบการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองตอนที่ 2

จากภาพที่ 3.3 เป็นการอธิบายถึงการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาความเหมาะสมในการใช้การอุปกรณ์ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแรงดันต่ำระบบน้ำ ทางผู้วิจัยทำการศึกษาความเหมาะสมในการใช้อุปกรณ์โดยวิเคราะห์ข้อมูลจาก ค่าความเป็นฉนวนของอุปกรณ์และ ขนาดของของเครื่องป้องกันกระแสเกินและเครื่องป้องกันการลัดวงจร ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. ความเหมาะสมของสภาพความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า
2. ขนาดของของเครื่องป้องกันกระแสเกินและเครื่องป้องกันการลัดวงจร
3. ความเหมาะสมในการณ์ใช้งานของวงจรควบคุมภาระไฟฟ้าเพื่อให้สะดวกแก่การใช้งานและซ่อมบำรุง

จากภาพที่ 3.4 เป็นการอธิบายถึงการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษานี้ทางผู้ทำการศึกษาจะใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าพลังงานที่ใช้ ค่าใช้จ่าย และกระแสไฟฟ้า ทำการเปรียบเทียบผลที่เก็บมาโดยได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลค่าพลังงานที่ใช้ ค่าใช้จ่าย และกระแสไฟฟ้า ในระบบแสงสว่างก่อนทำการปรับปรุง
2. เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลค่าพลังงานที่ใช้ ค่าใช้จ่าย และกระแสไฟฟ้า ในระบบแสงสว่างหลังทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 ศึกษาข้อมูล

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำเป็นระบบที่ติดตั้งมากว่า 20 ปี ซึ่งระบบน้ำเป็นระบบที่เป็นหัวใจของโรงงานคือ โรงงานขาดระบบน้ำจะทำให้ไม่สามารถดำเนินการผลิตต่างๆ ในโรงงานได้ โดยระบบไม่มีการบำรุงรักษาหรือจดบันทึกการปรับปรุงระบบที่เกิดขึ้นในอดีต มีเพียงการบอกกล่าวแบบปากต่อปาก อันเป็นเหตุทำให้ระบบไม่มีแบบทางไฟฟ้าที่เป็นปัจจุบัน ซึ่งทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ และยากต่อการควบคุมระบบอย่างมีประสิทธิภาพจึงได้มีโครงการเพื่อปรับปรุงระบบใหม่ทั้งหมดเพื่อให้ระบบเกิดเสถียรภาพและสามารถใช้ระบบควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการสำรวจและติดตั้งอุปกรณ์ทางไฟฟ้าใหม่ทั้งหมด และจัดระแบบภาระไฟฟ้าเพื่อสะดวกและมีระบบในการทำงานมากขึ้น ซึ่งมีข้อมูลจากการสำรวจตามตารางที่ 3.1

ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้ความสว่างในโรงชำแหละ เป็นโคมไฟที่ใช้พลังงานสูงและเกิดความร้อนมาก คือ โคมไฟชนิดหลอดไฟเรืองแสง อันเป็นเหตุทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากในระบบแสงสว่าง ผู้จัดทำจึงได้เสนอให้มีโครงการในการเปลี่ยนเป็นการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงเข้ามาแทน

จากตารางที่ 2.2 ตารางการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการให้ความสว่าง จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบหลอดไฟประเภทไดโอดเปล่งแสงกับโคมไฟประเภทหลอดเรืองแสง หลอดไฟประเภทไดโอดเปล่งแสงมี ระยะเวลาการใช้งานมากกว่าหลอดไฟประเภทเรืองแสงประมาณ 3-4 เท่า ค่าความสว่างต่อพลังงานมากกว่าหลอดไฟประเภทเรืองแสงประมาณ 2 เท่า และความถูกต้องของสีดีกว่าหลอดไฟประเภทเรืองแสง และไม่มีสารที่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิต จากด้านประสิทธิภาพการใช้งานจะเห็นได้ว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถนำมาใช้ทดแทนหลอดไฟเรืองแสงได้ แต่หลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าราที่แพงกว่าทำให้ต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันไปด้วย ดังนั้นเราจึงได้มาการศึกษาและตรวจวัดหลอดไฟเรืองแสงที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน เทียบกับหลอดที่ต้องการจะนำมาใช้แทนมีข้อมูลดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 3.2** ตารางเปรียบเทียบหลอดไฟก่อนและหลังการปรับปรุง

| คุณสมบัติ | หลอดไฟก่อนการปรับปรุง | หลอดไฟหลังการปรับปรุง |
|---|---|---|
| ชนิดโคมไฟ | หลอดไฟ Fluorescent 2*36 W | หลอด LED compact 50W |
| อุณหภูมิแสง | Cool Daylight 6500K | Cool Daylight 6500K |
| ค่าความสว่าง | 72 lm/w | 104 lm/w |
| ค่าความเข้มแสงฉลี่ย | 643 Lux | 687 Lux |
| พลังงานที่ใช้ | 0.54 amp/หลอด | 0.226 amp/หลอด |
| จำนวนหลอดที่ติดตั้ง | 319 | 217 |

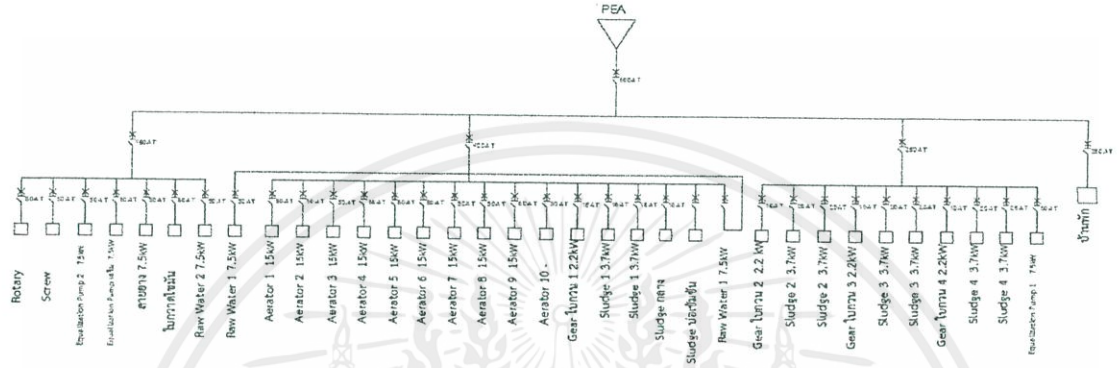
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สร้างแบบจำลอง

ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

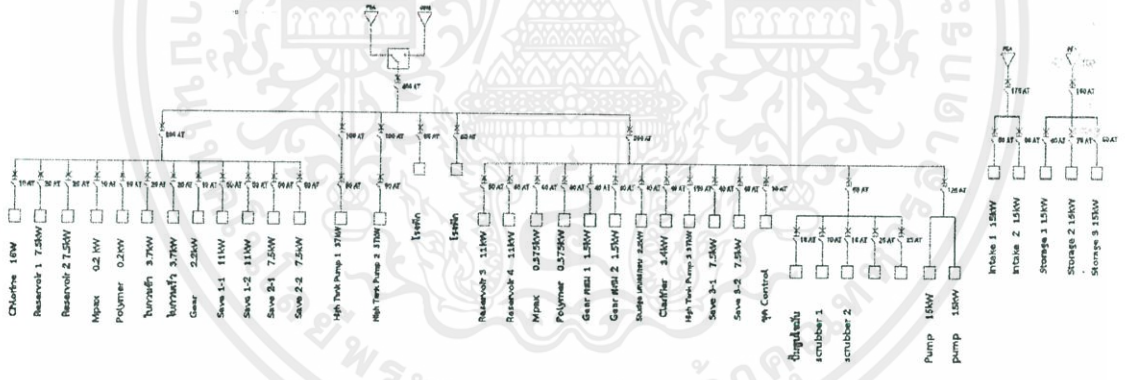
ในขั้นตอนนี้ได้ทำการเขียนแบบทางไฟฟ้าของระบบน้ำที่ได้ทำการสำรวจทั้งหมดโดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบน้ำประปา และระบบน้ำเสีย

แบบไฟฟ้าของระบบน้เสีย




**รูปที่ 3.5** แบบไฟฟ้าของระบบน้ำเสีย

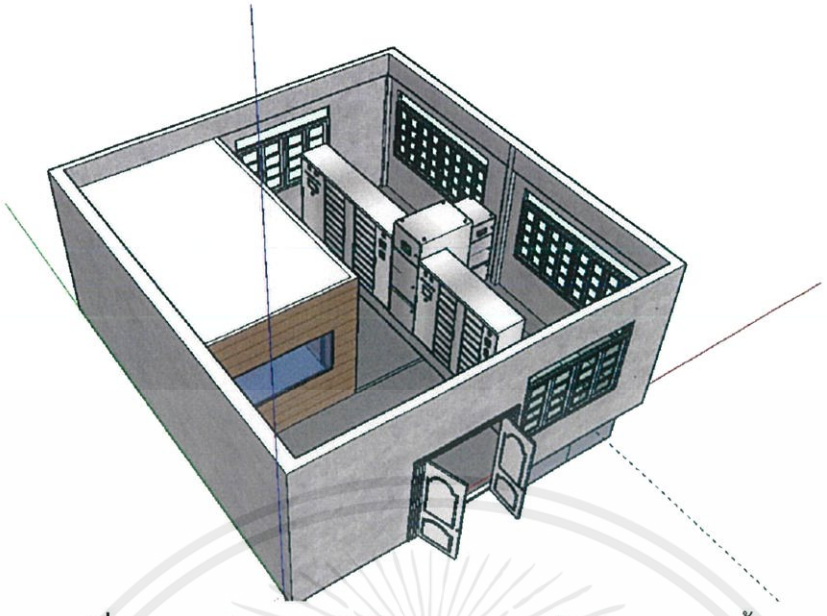
แบบไฟฟ้าของระบบน้ำประปา




**รูปที่ 3.6** แบบไฟฟ้าของระบบน้ำประปา

พร้อมทั้งสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของห้องควบคุมระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม SketchUp PRO เพื่อช่วยในการนำเสนอและออกแบบระบบใหม่เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจถึงโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.7

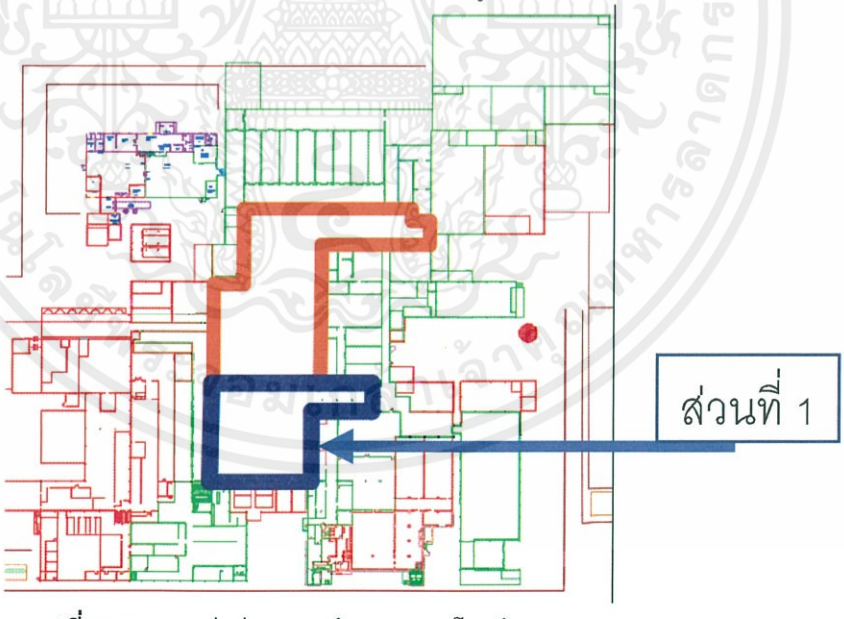
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.7** แบบจำลอง 3 มิติห้องควบคุมระบบไฟฟ้าของระบบน้ำ

ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ

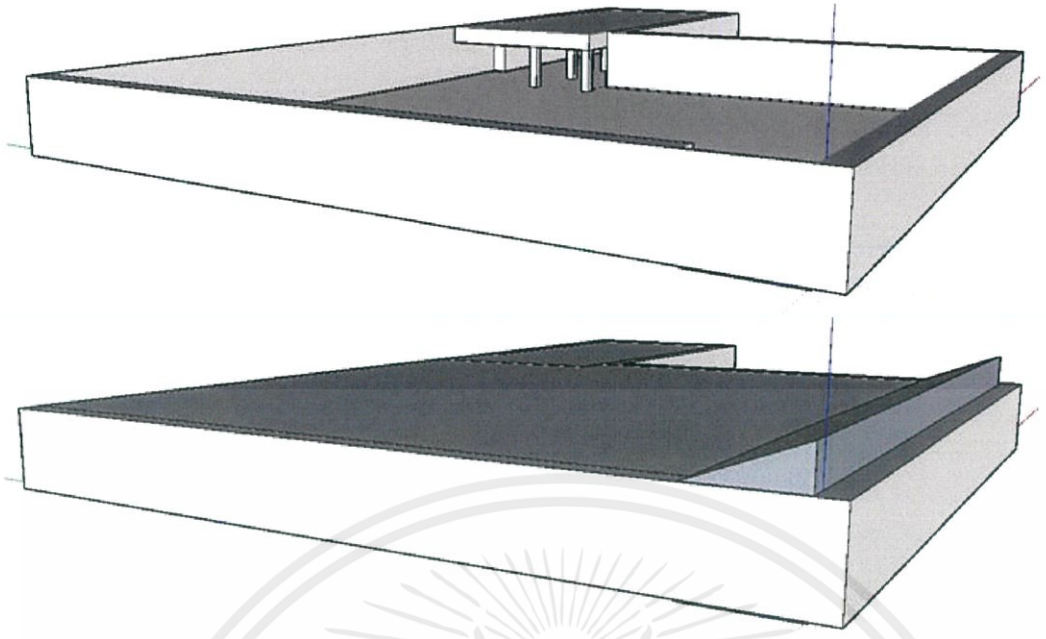
ในการจำลองระบบแสงสว่างจำเป็นจะต้องมีการสร้างโมเดลแบบจำลองเสมือนจริงขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณความสว่าง โดยการสร้างแบบจำลองนี้จะสร้างโดยการใช้โปรแกรม SketchUp Pro 2018 จำลองพื้นที่โรงไฟฟ้าโดยมีการแบ่งส่วนการคำนวณดังนี้ ดังรูปที่ 3.8




**รูปที่ 3.8** การแบ่งส่วนการคำนวณของโรงชำแหละ

ซึ่งทั้ง 2 ส่วนมีการใช้หลอดไฟจำนวนมาก ทว่างานวิจัยเรื่องนี้ได้ศึกษาเพียงส่วนที่ 1 เท่านั้น อันเนื่องมาจากปัจจัยในด้านต่างๆ เช่น เวลา งบประมาณการลงทุน และความหน้าเชื่อถือ เป็นต้น ได้ดำเนินการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของพื้นที่ส่วนที่ 1 ได้ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.9** แบบจำลอง 3 มิติของพื้นที่ส่วนที่ 1

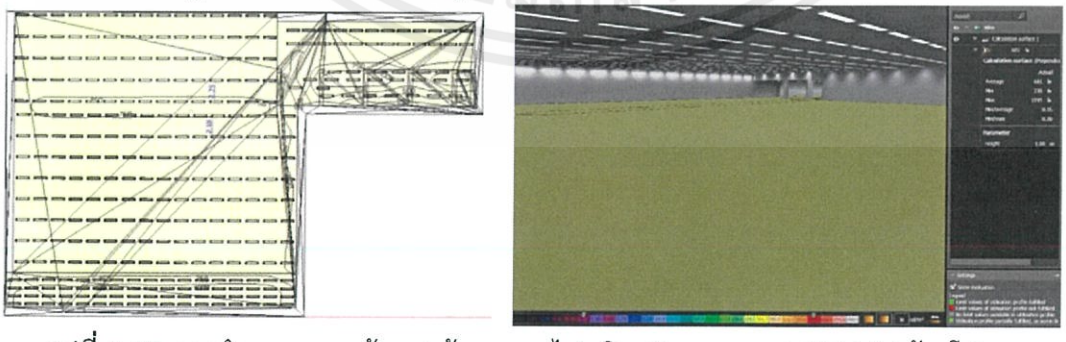
**3.7 การปฏิบัติงานด้านเทคนิค**

ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

ออกแบบระบบใหม่ให้มีความเหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้นโดยมีการสอบถามความต้องการผู้ปฏิบัติงานจริง เพื่อให้ได้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยระบบที่ออกแบบใหม่จะยังคงภาระไฟฟ้าเดิมไว้และเปลี่ยนอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแก่การใช้งานทั้งหมด

ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ

ทำการวัดความเข้มแสงในบริเวณต่างๆเพื่อหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและค่าต่ำสุดสุงสุดเพื่อนำข้อมูลมาอ้างอิงในการตั้งค่าหลอดไฟเพื่อให้ได้ค่าต่างๆใกล้เคียงกับความจริงที่สุด เพื่อให้การจำลองมีความสมจริงมากขึ้น แล้วได้จำลองความสว่างในโรงชำแหละด้วยไฟล์ IES ของโคมไฟชนิด Fluorescent 2*36 W ด้วยโปรแกรม DIALux EVO และปรับค่าตัวแปลให้ได้ความเข้มแสงใกล้เคียงกับที่วัดในพื้นที่ปฏิบัติจริง ได้ผลแสดง ดังรูปที่ 3.10



**รูปที่ 3.10** การจำลองความเข้มแสงด้วยหลอดไฟชนิด Fluorescent 2*36 W ด้วยโปรแกรม DIALux EVO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าเรื่อง “การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน” การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งผู้ทดลองได้แบ่งการวิจัยเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ และ ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ เพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานและใช้พลังงานมากขึ้น โดยทำให้มีความสะดวกในการใช้งานและละการสูญเสียของพลังงานที่ไม่จำเป็น โดยในกรณีศึกษานี้เมื่อได้ทำการดำเนินการตามขั้นตอนการดำเนินการวิจับแล้วได้ผลวิเคราะห์ดังนี้

## 4.1 ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ

4.1.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

4.1.2 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

4.1.3 วางแผนการปรับปรุงแก้ไข

4.1.4 ประเมิณค่าใช้จ่าย

4.1.5 สรุปผลการดำเนินงาน

**ตารางที่ 4.1** ตารางการสำรวจระบบน้ำประปาก่อนการปรับปรุง

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั้มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| Chlorine pump | 18 W | 10 AT | | 1.62 | 1.62 | DOL | Manual |
| Save 1-1 Pump | 11 kW | 50 AT | 25 A | 0.95 | 1.49 | S-D | Manual Auto |
| Save 1-2 Pump | 11 kW | 50 AT | 25 A | 1.45 | 1.43 | S-D | Manual Auto |
| Save 2-1 Pump | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 0.99 | 1.24 | S-D | Manual |

หมายเหตุ : ( Direst on line : DOL )

( Star delta start : S-D , Star delta start and Inverter : S-D Invertor )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั๊มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| Save 2-2 Pump | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.46 | 1.38 | S-D | Manual |
| Save 3-1 Pump | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.5 | 1.62 | S-D | Manual |
| Save 3-2 Pump | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.38 | 1.63 | S-D | Manual |
| High Tank pump 1 | 37 kW | 100 AT | 80 A | 0.85 | 1.07 | S-D Invertor | Manual Auto |
| High Tank pump 2 | 37 kW | 100 AT | 80 A | 0.97 | 1.28 | S-D Invertor | Manual Auto |
| High Tank pump 3 | 37 kW | 150 AT | 80 A | 1.42 | 1.55 | S-D Invertor | Manual Auto |
| จ่ายไฟโรงฟัก 1 | - | 80 AT | - | 1.35 | 1.38 | - | - |
| จ่ายไฟโรงฟัก 2 | - | 50 AT | - | 1.42 | 1.37 | - | - |
| Reservoir 1 | 7.5 kW | 20 AT | 25 A | 0.75 | 1.11 | S-D | Manual Auto |
| Reservoir 2 | 7.5 kW | 20 AT | 25 A | 0.97 | 1.20 | S-D | Manual Auto |
| Reservoir 3 | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.55 | 1.42 | S-D | Manual Auto |
| Reservoir 4 | 7.5 kW | 40 AT | 25 A | 1.52 | 1.37 | S-D | Manual Auto |
| Mpax pump | 0.2 kW | 10 AT | 1.6 A | 1.25 | 1.33 | DOL | Manual Auto |
| Polymer pump | 0.2 kW | 10 AT | 1.6 A | 1.33 | 1.40 | DOL | Manual Auto |
| Mpax pump | 0.37 kW | 40 AT | 1.6 A | 1.68 | 1.55 | DOL | Manual Auto |

หมายเหตุ : ( Direst on line : DOL )

( Star delta start : S-D , Star delta start and Inverter : S-D Invertor )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั๊มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| ใบกวนผสม 1 | 1.5 kW | 40 AT | 4 A | 1.45 | 1.33 | DOL | Manual Auto |
| ใบกวนผสม 2 | 1.5 kW | 40 AT | 4 A | 1.35 | 1.42 | DOL | Manual Auto |
| ใบกวนกำจัดตะกอน | 2.2 kW | 40 AT | 10 A | 0.89 | 1.36 | DOL | Manual Auto |
| Clarifier | 3.4 kW | 40 AT | 10 A | 1.65 | 1.57 | DOL | Manual Auto |
| ใบกวนช้า | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.33 | 1.44 | DOL | Manual Auto |
| ใบกวนเร็ว | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.24 | 1.41 | DOL | Manual Auto |
| Gear motor | 2.2 kW | 10 AT | 10 A | 1.33 | 1.51 | DOL | Manual Auto |
| ไฟชุด control | - | 10 AT | | 1.7 | - | - | - |
| Scrubber 1 | 2.2 kW | 10 AT | 10 A | 1.62 | 1.66 | DOL | Manual |
| Scrubber 2 | 2.2 kW | 10 AT | 10 A | 1.55 | 1.62 | DOL | Manual |
| ปั๊มสูบไขมัน | 3.4 kW | 18 AT | 10 A | 1.68 | 1.64 | DOL | Manual Auto |
| ข้ำเข้าถังมีเดียร์ | 3.7 kW | 25 AT | 10 A | 1.62 | 1.62 | DOL | Manual Auto |
| เผาแก๊ส | 3.7 kW | 25 AT | 10 A | 1.68 | 1.65 | DOL | Manual Auto |
| Pump | 15 kW | 125 AT | 32 A | 1.55 | 1.66 | S-D | Manual Auto |
| Pump | 15 kW | | 32 A | 1.62 | 1.64 | S-D | Manual Auto |
| Intake 1 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.35 | 1.33 | S-D | Manual Auto |

หมายเหตุ : ( Direst on line : DOL )

( Star delta start : S-D , Star delta start and Inverter : S-D Invertor )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั๊มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| Intake 2 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.25 | 1.24 | S-D | Manual Auto |
| Polymer pump | 0.37 kW | 40 AT | 1.6 A | 1.55 | 1.62 | DOL | Manual Auto |
| Storage 1 | 15 kW | 60 AT | 40 A | 0.93 | 1.41 | S-D | Manual Auto |
| Storage 2 | 15 kW | 75 AT | 40 A | 1.33 | 1.32 | S-D | Manual Auto |
| Storage 3 | 15 kW | 60 AT | 40 A | 1.36 | 1.25 | S-D | Manual Auto |

หมายเหตุ : ( Direst on line : DOL )

( Star delta start : S-D , Star delta start and Inverter : S-D Invertor )

**ตารางที่ 4.2** ตารางการสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการปรับปรุง

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั๊มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| Rotary | 3.7 kW | 50 AT | 10 A | 1.55 | 1.67 | DOL | Manual |
| Screw | 3.7 kW | 50 AT | 10 A | 1.65 | 1.63 | DOL | Manual |
| Equalization Pump 1 | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.44 | 1.42 | S-D | Manual |
| Equalization Pump 2 | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.32 | 1.32 | S-D | Manual |
| Equalization Pump 3 | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.33 | 1.40 | S-D | Manual |
| ปั๊มสายยาง | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.26 | 1.33 | S-D | Manual |
| ใบกวาดไขมัน | 3.7 kW | 50 AT | 10 A | 1.22 | 1.28 | DOL | Manual |
| บ้านพัก | - | 250 AT | - | 1.35 | - | - | - |

หมายเหตุ : ( Direst on line : DOL )

( Star delta start : S-D , Star delta start and Inverter : S-D Invertor )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั๊มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| Aerator 5 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.40 | 1.52 | S-D | Manual |
| Aerator 6 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.30 | 1.45 | S-D | Manual |
| Aerator 7 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.32 | 1.58 | S-D | Manual |
| Aerator 8 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.42 | 1.34 | S-D | Manual |
| Aerator 9 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.35 | | S-D | Manual |
| Aerator 10 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.23 | 1.62 | S-D | Manual |
| Sludge กลางบ่อ | 3.7 kW | 18 AT | 10 A | 1.42 | 1.44 | DOL | Manual |
| Sludge บ่อเข้มข้น | 3.7 kW | 18 AT | 10 A | 1.62 | 1.46 | DOL | Manual |
| Gear ใบกวน 1 | 2.2 kW | 18 AT | 10 A | 1.22 | 1.52 | DOL | Manual |
| Sludge 1-1 | 3.7 kW | 18 AT | 10 A | 1.54 | 1.43 | DOL | Manual |
| Sludge 1-2 | 3.7 kW | 18 AT | 10 A | 1.49 | 1.62 | DOL | Manual |
| Gear ใบกวน 2 | 2.2 kW | 10 AT | 10 A | 1.57 | 1.49 | DOL | Manual |
| Sludge 2-1 | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.55 | 1.47 | DOL | Manual |
| Sludge 2-2 | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.46 | 1.47 | DOL | Manual |
| Gear ใบกวน 3 | 2.2 kW | 10 AT | 10 A | 1.62 | 1.62 | DOL | Manual |
| Sludge 3-1 | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.52 | 1.52 | DOL | Manual |
| Sludge 3-2 | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.54 | 1.49 | DOL | Manual |
| Gear ใบกวน 4 | 2.2 kW | 10 AT | 10 A | 1.55 | 1.60 | DOL | Manual |
| Sludge 4-1 | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.43 | 1.51 | DOL | Manual |
| Sludge 4-2 | 3.7 kW | 20 AT | 10 A | 1.25 | 1.44 | DOL | Manual |
| Raw Water Pump | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.09 | 1.19 | S-D | Manual |
| Raw Water Pump | 7.5 kW | 50 AT | 25 A | 1.21 | 1.34 | S-D | Manual |

หมายเหตุ : ( Direst on line : DOL )

( Star delta start : S-D , Star delta start and Inverter : S-D Invertor )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า (Watt) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Amp.Trip) | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Amp) | ค่าความเป็นฉนวน | | อุปกรณ์ควบคุม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | สายไฟ | มอเตอร์/ปั๊มน้ำ | ชนิดการ Start | ระบบควบคุม |
| Aerator 1 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.35 | 1.62 | S-D | Manual |
| Aerator 2 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.26 | 1.24 | S-D | Manual |
| Aerator 3 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.32 | 1.44 | S-D | Manual |
| Aerator 4 | 15 kW | 50 AT | 40 A | 1.33 | 1.36 | S-D | Manual |

หมายเหตุ : ( Direst on line : DOL )

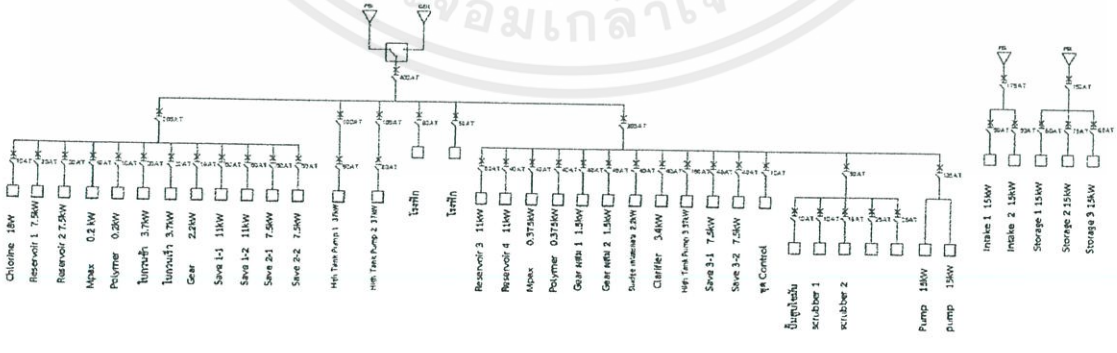
( Star delta start : S-D , Star delta start and Inverter : S-D Invertor )

### 4.1.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

เมื่อนำข้อมูลการวิเคราะห์ความเหมาะสมที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในการสำรวจระบบน้ำประปาก่อนการปรับปรุงและการสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการปรับปรุง มาพิจารณา ณ ปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้มีบางส่วนไม่มีความเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การใช้งานมาเป็นเวลานานโดยไม่ได้มีการบำรุงรักษา หมดอายุขัยของวัสดุที่ใช้งาน มีการออกแบบไม่เป็นไปตามที่ค่าที่มาตรฐานกำหนด

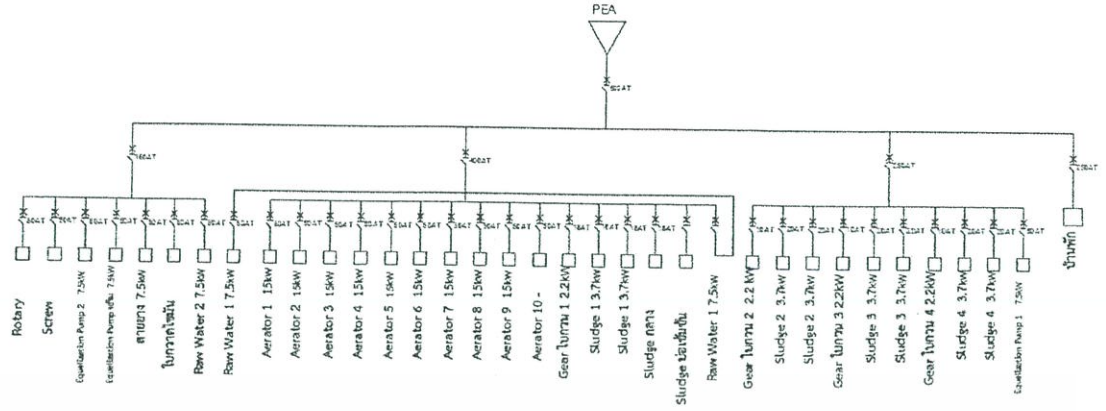
### 4.1.2 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

การปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและการใช้พลังงาน ผู้จัดทำงานวิจัยได้วิเคราะห์ถึงต้นเหตุของปัญหาจึงได้ทำการวางแผนที่จะแก้ไขปัญหาโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ไม่ได้มาตราฐานและออกแบบระบบให้มีความเหมาะสมแก่การใช้งานของผู้ใช้งานจริงมากขึ้น ซึ่งสามารถแสดงแปลนทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงได้ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2



**ภาพที่ 4.1** แปลนทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงของระบบน้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.2** แปลนทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงของระบบบำบัดน้ำเสีย

### 4.1.3 วางแผนการปรับปรุงแก้ไข

หลังจากสำรวจและรวบรวมข้อมูล ผู้ทำการวิจัยได้พิจารณาความเหมาะสมของสายไฟที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีส่วนที่ควรปรับปรุงดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงสายไฟของภาระไฟฟ้าของระบบน้ำประปาที่ควรได้รับการปรับปรุง

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า(Watt) | สภาพสายไฟ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นฉนวนของสาย | ปกติ | ควรปรับปรุง |
| Chlorine pump | 18 W | 1.62 | / | |
| Save 1-1 Pump | 11 kW | 0.95 | | / |
| Save 1-2 Pump | 11 kW | 1.45 | / | |
| Save 2-1 Pump | 7.5 kW | 0.99 | | / |
| Save 2-2 Pump | 7.5 kW | 1.46 | / | |
| Save 3-1 Pump | 7.5 kW | 1.5 | / | |
| Save 3-2 Pump | 7.5 kW | 1.38 | / | |
| High Tank pump 1 | 37 kW | 0.85 | | / |
| High Tank pump 2 | 37 kW | 0.97 | | / |
| High Tank pump 3 | 37 kW | 1.42 | / | |
| จ่ายไฟโรงฟัก 1 | - | 1.35 | / | |
| จ่ายไฟโรงฟัก 2 | - | 1.42 | / | |
| Reservoir 1 | 7.5 kW | 0.75 | | / |
| Reservoir 2 | 7.5 kW | 0.97 | | / |
| Reservoir 3 | 7.5 kW | 1.55 | / | |
| Reservoir 4 | 7.5 kW | 1.52 | / | |
| Mpax pump | 0.2 kW | 1.25 | / | |
| Polymer pump | 0.2 kW | 1.33 | / | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า(Watt) | สภาพสายไฟ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นฉนวนของสาย | ปกติ | ควรปรับปรุง |
| Mpax pump | 0.37 kW | 1.68 | / | |
| ใบกวนผสม 1 | 1.5 kW | 1.45 | / | |
| ใบกวนผสม 2 | 1.5 kW | 1.35 | / | |
| ใบกวนกำจัดตะกอน | 2.2 kW | 0.89 | | / |
| Clarifier | 3.4 kW | 1.65 | / | |
| ใบกวนช้า | 3.7 kW | 1.33 | / | |
| ใบกวนเร็ว | 3.7 kW | 1.24 | / | |
| Gear motor | 2.2 kW | 1.33 | / | |
| ไฟชุด control | - | 1.7 | / | |
| Scrubber 1 | 2.2 kW | 1.62 | / | |
| Scrubber 2 | 2.2 kW | 1.55 | / | |
| ปั้มสูบไขมัน | 3.4 kW | 1.68 | / | |
| ปั้มเข้าถัง มีเดียร์ | 3.7 kW | 1.62 | / | |
| เผาแก๊ส | 3.7 kW | 1.68 | / | |
| Pump | 15 kW | 1.55 | / | |
| Pump | 15 kW | 1.62 | / | |
| Intake 1 | 15 kW | 1.35 | / | |
| Intake 2 | 15 kW | 1.25 | / | |
| Polymer pump | 0.37 kW | 1.55 | / | |
| Storage 1 | 15 kW | 0.93 | | / |
| Storage 2 | 15 kW | 1.33 | / | |
| Storage 3 | 15 kW | 1.36 | / | |

* ค่าความเป็นฉนวนของสาย ต่ำกว่า 1.0 ควรได้รับการปรับปรุง
ไม่ต่ำกว่า 1.0 ปกติ

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงสายไฟของภาระไฟฟ้าของระบบบำบัดน้ำเสียที่ควรได้รับการปรับปรุง

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า(Watt) | สภาพสายไฟ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นฉนวนของสาย | ปกติ | ควรปรับปรุง |
| Rotary | 3.7 kW | 1.55 | / | |
| Screw | 3.7 kW | 1.65 | / | |
| Equalization Pump 1 | 7.5 kW | 1.44 | / | |
| Equalization Pump 2 | 7.5 kW | 1.32 | / | |
| Equalization Pump 3 | 7.5 kW | 1.33 | / | |
| ปั้มสายยาง | 7.5 kW | 1.26 | / | |

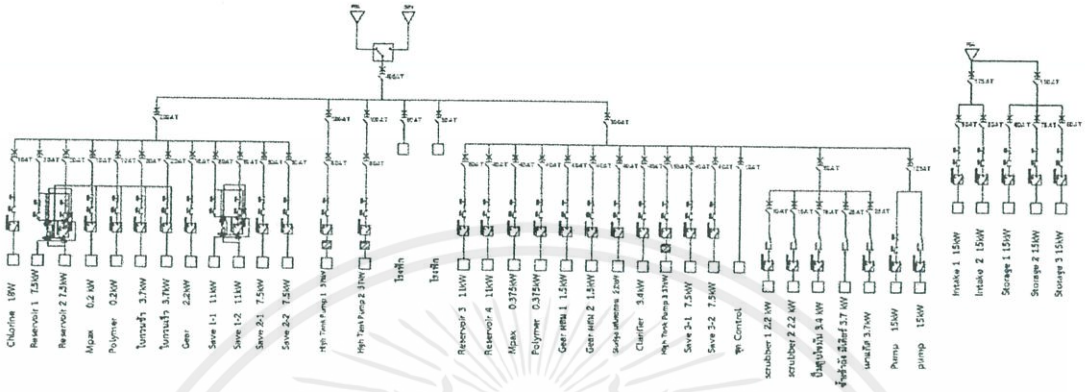
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ภาระไฟฟ้า | ขนาดของภาระไฟฟ้า(Watt) | สภาพสายไฟ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นฉนวนของสาย | ปกติ | ควรปรับปรุง |
| ใบกวาดไขมัน | 3.7 kW | 1.22 | / | |
| บ้านพัก | - | 1.35 | / | |
| Aerator 1 | 15 kW | 1.35 | / | |
| Aerator 2 | 15 kW | 1.26 | / | |
| Aerator 3 | 15 kW | 1.32 | / | |
| Aerator 4 | 15 kW | 1.33 | / | |
| Aerator 5 | 15 kW | 1.40 | / | |
| Aerator 6 | 15 kW | 1.30 | / | |
| Aerator 7 | 15 kW | 1.32 | / | |
| Aerator 8 | 15 kW | 1.42 | / | |
| Aerator 9 | 15 kW | 1.35 | / | |
| Aerator 10 | 15 kW | 1.23 | / | |
| Sludge กลางบ่อ | 3.7 kW | 1.42 | / | |
| Sludge บ่อเข้มข้น | 3.7 kW | 1.62 | / | |
| Gear ใบกวน 1 | 2.2 kW | 1.22 | / | |
| Sludge 1-1 | 3.7 kW | 1.54 | / | |
| Sludge 1-2 | 3.7 kW | 1.49 | / | |
| Gear ใบกวน 2 | 2.2 kW | 1.57 | / | |
| Sludge 2-1 | 3.7 kW | 1.55 | / | |
| Sludge 2-2 | 3.7 kW | 1.46 | / | |
| Gear ใบกวน 3 | 2.2 kW | 1.62 | / | |
| Sludge 3-1 | 3.7 kW | 1.52 | / | |
| Sludge 3-2 | 3.7 kW | 1.54 | / | |
| Gear ใบกวน 4 | 2.2 kW | 1.55 | / | |
| Sludge 4-1 | 3.7 kW | 1.43 | / | |
| Sludge 4-2 | 3.7 kW | 1.25 | / | |
| Raw Water Pump | 7.5 kW | 1.09 | / | |
| Raw Water Pump | 7.5 kW | 1.21 | / | |

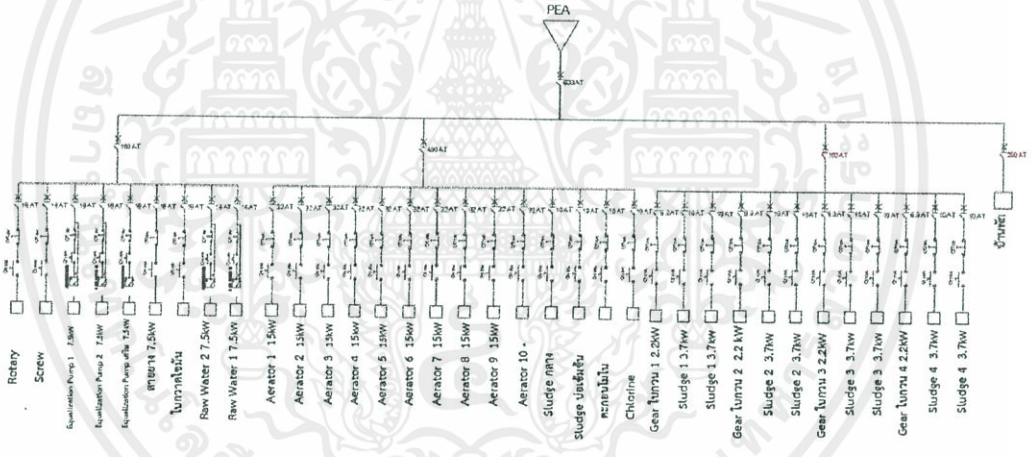
* ค่าความเป็นฉนวนของสาย ต่ำกว่า 1.0 ควรได้รับการปรับปรุง
ไม่ต่ำกว่า 1.0 ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 เราสามารถวิเคราะห์และระบุได้ว่าสายไฟเส้นใดควรได้รับการปรับปรุงและทราบภาระไฟฟ้าทั้งหมดที่เราต้องการในการออกแบบพร้อมทั้งออกแบบระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำทั้งหมด โดยเรามีการย้ายจุดควบคุมภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก้การใช้งานและลดระยะของสายไฟให้มีการใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด ได้แปลนทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุงดังนี้



**ภาพที่ 4.3** แปลนทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุงของระบบน้ำประปา




**ภาพที่ 4.4** แปลนทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุงของระบบบำบัดน้ำเสีย

### 4.1.4 ประเมินค่าใช้จ่าย

ในการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดทางผู้วิจัยได้จัดทำใบประเมินราคาเพียงค่าอุปกรณ์อย่างเดียวตลอดทั้งโครงการที่ต้องใช้ โดยอ้างอิงจากราคาที่มีการเสนอมาของบริษัทรับเหมา [22] ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางการประเมิณราคาค่าอุปกรณ์การปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำทั้งหมด

| Item | Description | Unit | Q'ty | Material | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Unit Price | Total Price | |
| | Main Circuit Breaker | | | | | |
| 1 | ABB MCCB breaker 100 A | SET | 1 | 2150 | 2150 | 2150 |
| 2 | ABB MCCB breaker 125 A | SET | 1 | 2150 | 2150 | 2150 |
| 3 | ABB MCCB breaker 160 A | SET | 1 | 2500 | 2500 | 2500 |
| 4 | ABB MCCB breaker 200 A | SET | 1 | 2750 | 2150 | 2750 |
| 5 | ABB MCCB breaker 250 A | SET | 1 | 2750 | 2750 | 2750 |
| 6 | ABB MCCB breaker 400 A | SET | 2 | 8150 | 8150 | 16300 |
| 7 | ABB MCCB breaker 630 A | SET | 1 | 14300 | 14300 | 14300 |
| | Motor Circuit Breaker | | | | | |
| 8 | ABB MS132-32 | SET | 12 | 1990 | 19900 | 23880 |
| 9 | ABB MS132-25 | SET | 2 | 1580 | 3160 | 3160 |
| 10 | ABB MS132-16 | SET | 11 | 1990 | 21890 | 21890 |
| 11 | ABB MS132-10 | SET | 18 | 1300 | 20800 | 23400 |
| 12 | ABB MS132-6.3 | SET | 9 | 1090 | 6540 | 9810 |
| 13 | ABB MS132-4.0 | SET | 2 | 1090 | 2180 | 2180 |
| 14 | ABB MS132-1.6 | SET | 2 | 1090 | 2180 | 2180 |
| 15 | ABB MS132-1 | SET | 2 | 1090 | 2180 | 2180 |
| | Magnetic Contactor | | | | | |
| 16 | ABB AF30-30-10 | SET | 12 | 1160 | 11600 | 139<br>20 |
| 17 | ABB AF26-30-10 | SET | 2 | 930 | 1860 | 1860 |
| 18 | ABB AF16-30-10 | SET | 29 | 650 | 17550 | 18850 |
| 19 | ABB AF09-30-10 | SET | 15 | 370 | 4440 | 5550 |
| | ตู้ MDB | | | | | |
| 20 | ตู้ MDB 1 ช่อง | SET | 4 | 20000 | 40000 | 80000 |
| 21 | ตู้ MDB 3 ช่อง | SET | 2 | 60000 | 120000 | 120000 |
| 22 | ชุดคอนโทรล | SET | 66 | 1000 | 51000 | 66000 |
| | -Pilot lamp<br>-push button switch<br>-selector switch | | 2<br>2<br>1 | | | |
| | | | | | | |
| | รวม | | | | | 437760 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสายไฟทางบริษัทได้มีเพียงพออยู่แล้วสำหรับการปรับปรุงครั้งนี้ทำให้จึงไม่มีในใบประเมิณราคา

### 4.1.5 สรุปผลการดำเนินงาน

หลังจากวางแผนการปรับปรุงพร้อมทั้งประเมิณราคาของระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ ทำให้ระบบมีความเหมาสมแก่การใช้งานในปัจจุบันจากการออกแบบใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และยังช่วยลดความเสียหายทั้งด้านทรัพย์สินหรือด้านผลผลิตที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคตอีกด้วย

## 4.2 ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ

4.2.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

4.2.2 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

4.2.3 วางแผนการปรับปรุงแก้ไข

4.2.4 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

4.2.5 สรุปผลการดำเนินงาน

### 4.2.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในปัจจุบันโรงงานได้มีการใช้ไฟฟ้าไปกับด้านพลังงานเป็นจำนวน 1,335,415.20 หน่วยต่อปี คิดเป็น ร้อยละ 3.5 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของโรงงาน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด หลอดเรืองแสง ซึ่งมีการให้แสงสว่างอยู่ที่ประมาณ 85 Lumen per watts ซึ่งเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพต่ำสำหรับในปัจจุบันและใช้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิเพียง 8-12 °C ทำให้เกิดการควบแน่นของน้ำภายในโคมไฟทำให้อายุการใช้งานของหลอดไฟสั้นลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีการวิเคราะห์พิจารณาหาแหล่งกำเนิดแสงใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า และเหมาะสมแก่การใช้งาน

### 4.2.2 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

ผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะใช้หลอดไฟชนิด ไดโอดเปล่งแสง เข้ามาแทนที่หลอดเรืองแสง เนื่องจากเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าและให้ความสว่างที่ผ่านมาตรฐานตามตารางที่ 2.6 และสอดคล้องกับที่บริษัทต้องการคือไม่น้อยกว่าตอนนี้ที่มีการใช้งานอยู่ พร้อมทั้งพิจารณาใช้โคมไฟรูปแบบเฉพาะที่ใช้สำหรับในห้องเย็น โดยหลอดที่เลือกใช้เป็นหลอดที่มีคุณสมบัติดังนี้

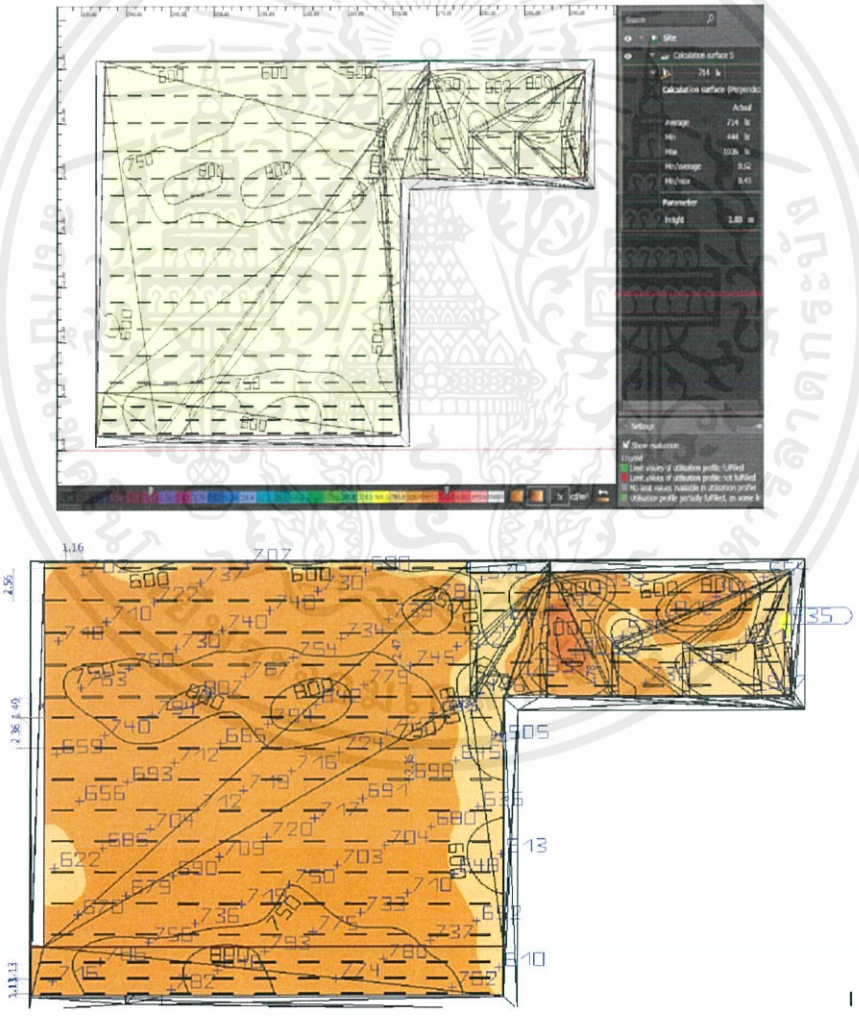
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่เลือกใช้

| Type | Power (Watts) | Color temperature (K) | Luminous flux ( LM) | CRI | Working temperature (° C) | Power factor | Lives (Hr.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LED | 50 | 6500 | ≥ 5200 | 80 | -25 ~ +50 | > 0.95 | 50000 |
| Fluorescent | 36 | 6500 | 3070 | 80 | - | 0.78 | 15000 |

### 4.2.3 วางแผนการปรับปรุงแก้ไข

ทำการจำลองหาจำนวนหลอดที่ต้องใช้และรูปแบบการติดตั้งโดยให้ได้ค่าความเข้มแสงในพื้นที่ไม่น้อยกว่าเดิม โดยโปรแกรม DIAlux EVO แสดงดัง รูปที่ 4.1



**รูปที่ 4.1** แบบจำลองค่าความเข้มแสงในบริเวณโรงชำแหละ

จากการจำลองข้างต้นได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างอยู่ที่ 714 lux ซึ่งไม่น้อยกว่าก่อนการปรับปรุง และใช้โคมไฟทั้งหมดทั้งหมด 226 โคม แสดงการเปรียบเทียบ ค่าต่าง ๆ ก่อนละหลังการปรับปรุงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองข้างต้นได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างอยู่ที่ 714 lux ซึ่งไม่น้อยกว่าก่อนการปรับปรุง และใช้โคมไฟทั้งหมดทั้งหมด 226 โคม แสดงการเปรียบเทียบ ค่าต่าง ๆ ก่อนละหลังการปรับปรุงดังนี้

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

| การวัดค่า | ค่าความส่องสว่าง | | | ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อโคม (Watts/Hrs.) | จำนวนโคมที่ใช้ |
|---|---|---|---|---|---|
| | สูงสุด | เฉลี่ย | ต่ำสุด | | |
| ก่อนปรับปรุง | 1187 | 648 | 53.2 | 98.25 | 319 |
| หลังปรับปรุง | 1036 | 714 | 444 | 51.4 | 226 |

### 4.2.4 ประเมิณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากตารางที่ 4.7 เราทราบว่าการใช้พลังงานในการให้แสงสว่างก่อนการปรับปรุงเท่ากับ

$$\text{พลังงานที่ใช้} = \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อโคม} \times \text{จำนวนโคมที่ใช้}$$

พลังงานที่ใช้ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ $98.25 \times 319 = 31.341$ kW/Hrs.

และหลังปรับปรุงใช้พลังงานอยู่ที่เท่ากับ $51.4 \times 226 = 11.616$ kW/Hrs.

ประหยุดพลังงานได้ 31.341-11.616 = 19.725 kW/Hrs. โดยโคมไฟมีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง 6 วันต่อสัปดาห์ และค่าเฉลี่ยของค่าไฟเท่ากับ 3.5 บาทต่อหน่วย ประหยัดค่าไฟไปได้เท่ากับ 19.725 x 24 x 6 x 3.5 = 9,941.57 บาทต่อสัปดาห์ โดยราคาพร้อมติดตั้งโคมไฟชนิดใหม่ราคา 1758 บาทต่อโคม ใช้เงินในการลงทุนทั้งหมด 1758 x 226 = 397,308 บาท ดั้งนั้นจะได้จุดคืนทุนเท่ากับเท่ากับ 397,308 /9,941.57 = 39.96 สัปดาห์ หรือ 10 เดือน

### 4.2.5 สรุปผลการดำเนินงาน

หลังจากวางแผนการปรับปรุงพร้อมทั้งประเมิณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ ทำให้ได้ว่าเราสามารถประหยัดค่าไฟจากเดิมได้ 62.9 % และหากลงทุนในการปรับปรุงระบบแสงสว่างมีจุดคุ้มคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อยู่ที่ระยะเวลา 39.96 สัปดาห์ หลังการลงทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าและออกแบบนี้เป็นการปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน โดยได้แบ่งเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 ปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำ ซึ่งระบบน้ำแยกเป็นระบบบำบัดน้ำเสียและระบบน้ำประปา หลังจากการตรวจสอบสภาพระบบจำหน่ายแรงดันต่ำในปัจจุบัน ได้พบว่ามีการใช้อุแกรณ์ที่ไม่เหมาะสมแก่การใช้งาน ใช้และไม่เป็นไปตามที่มาตราฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 กำหนด ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบใหม่ให้เหมาะสมแก่การใช้งานและเป็นไปตามที่มาตราฐานกำหนดโดยใช้งบประมาณค่าอุปกรณ์ในการปรับปรุง 437,760 บาท และ ตอนที่ 2 ปรับปรุงระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ โดยทำการวางแผนที่จะเปลี่ยนชนิดหลอดไฟที่ใช้ จากหลอดไฟเรืองแสงเป็นหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง จากการออกแบบด้วยโปรแกรม DIALux จะลดการใช้หลอดไฟจากเดิมใช้ทั้งหมด 319 โคม เป็น 226 โคม โดยที่ความสะว่างไม่น้อยกว่าเดิม ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไปได้ 19.725 kW ต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 62.93 ของพลังงานเดิม หากทำตามที่ได้มีการจำลองไว้ ใช้งบประมาณในการติดตั้ง 397,308 บาท และมีระยะเวลาจุดคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เท่ากับ 10 เดือน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าเรื่อง “การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน” กรณีศึกษาระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำและระบบแสงสว่างในโรงชำแหละ หลังจากได้วางแผนและออกแบบการปรับปรุงระบบทั้งสองระบบใหม่เพื่อช่วยในการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดความสูญเสียที่ไม่จำเป็นและลดการใช้พลังงานของโรงงาน และจากงานค้นคว้าอิสระนี้ได้มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา ดังนี้

1. ควรมีการลงบันทึกการทำงานทุกครั้งหลังจากมีการปรับปรุงแก้ไขระบบต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลเป็นปัจจุบันอยู่เสมอ

2. เป็นแนวคิดในการปรับปรุงระบบแสงสว่างในส่วนอื่น ๆ ต่อไป

3. พัฒนาระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของระบบน้ำให้มีการบันทึกข้อมูลเพื่อศึกษาเมื่อเกิดการผิดปกติของระบบหรือเกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงในอนคต

4. พัฒนาระบบควบคุมให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น

ทั้งนี้การปรับปรุงระบบงานต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และถูกหลักวิศวกรรม เพื่อนำมาช่วยในการพิจารณาในการตัดสิ้นใจในการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


[1] Sun group , “เกี่ยวกับเรา” [ออนไลน์]. Available: https://www.sungroup.co.th/about-us.php. [ เข้าถึง 10 พฤศจิกายน 2561].

[2] พุทธชาติ ทองเอม, “พลังงานในอนาคต และการพัฒนาที่ยั่งยืน” [ออนไลน์]. Available : http://library2.parliament.go.th/ebook/content-ebbas/b43580_power.pdf. [ เข้าถึง 10 พฤศจิกายน 2561].

[3] ประสาท มีแต้ม, “ไทยแลนด์ 4.0 กับตัวชี้วัดด้านพลังงาน (ตัวอย่างจากรัฐแคลิฟอร์เนียและโรงพยาบาลจะนะ) ” [ออนไลน์]. Available : https://mgronline.com/daily/detail/9610000001832 [ เข้าถึง 10 พฤศจิกายน 2561].

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) , “การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายการอนุรักษ์พลังงาน ภายใต้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535
(และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2550) สำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม” [ออนไลน์]. Available : http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=102 [ เข้าถึง 10 พฤศจิกายน 2561].

[5] กระทรวงพลังงาน , “ยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน 2559-2563” [ออนไลน์]. Available : http://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/10812-strategyofministry-2559-2563 [ เข้าถึง 10 พฤศจิกายน 2561]

[6] Komine, T. and M. Nakagawa (2004). "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights." IEEE transactions on Consumer Electronics 50(1): 100-107.

[7] Kit, J. (2009). Retrofit LED lamp for fluorescent fixtures without ballast, Google Patents.

[8] Boyer, S. A. (2009). SCADA: supervisory control and data acquisition, International Society of Automation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม(ต่อ)


[9] laser vision , "แสงกับการมองเห็นของดวงตา " [ออนไลน์]. Available : http://www.laservisionthai.com/health-corner/%E0%B9%81%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B8%B2 [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[10] diyledproject , "Color Temperature คืออะไร" [ออนไลน์]. Available : https://diyledproject.com/color-temperature [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[11] Lighting International Co., Ltd. , "COLOR RENDERING INDEX (CRI หรือ $R_a$)" [ออนไลน์]. Available : http://www.lumitronlighting.com/lighting_nowledge/CRI.pdf [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[12] Harvey, E. N. (1957). A history of luminescence from the earliest times until 1900, American Philosophical Society

[13] Howell, J. W. and H. Schroeder (1927). History of the incandescent lamp, Maqua Company.

[14] Nevins, M. O. (2010). Induction lamp light fixture, Google Patents.

[15] บริษัท บลู เทคโนโลยี แอลอีดี จำกัด, "หน่วยวัดปริมาณแสงในการใช้งานจริง" [ออนไลน์]. Available : http://www.bluetech-led.com/news/candela-lumen-lux [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[16] บริษัท บลู เทคโนโลยี แอลอีดี จำกัด, "หน่วยวัดปริมาณแสงในการใช้งานจริง" [ออนไลน์]. Available : https://www.shd.co.th/index.php?route=pavblog/blog&blog_id=37 [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[17] cheerasak , "มารู้จักหลอด Metal Halide (MH) หลอดไฟสำหรับมืออาชีพ" [ออนไลน์]. Available : https://aqua.c1ub.net/forum/index.php?topic=177513.0 [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม(ต่อ)

[18] นายเทอดชย์ นบธีราสุภาพ , “หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FLUORESCENT LAMP)” [ออนไลน์]. Available : http://www.dss.go.th/images/st-article/pep_3_2550_Flores.pdf [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[19] Zheludev, N. (2007). "The life and times of the LED—a 100-year history." Nature Photonics 1(4): 189.

[20] Thailandindustry.com Dept , “การทดสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า” [ออนไลน์]. Available : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=13377 [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[21] , “มาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไป ” [ออนไลน์]. Available : http://k-rc.net/imageupload/10443/LUX_standard.pdf [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

[22] ใบเสนอราคา ภาคผนวก ข

[23] [ออนไลน์]. Available : http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara010.html [ เข้าถึง 20 พฤศจิกายน 2561]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคพนวก ก

## ตาราง แสดงพิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสและ3 เฟส

| มอเตอร์ 1 เฟส | | | | มอเตอร์ 3 เฟส 4 ขั้ว 50 Hz | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kW | HP | 230V(A) | 240v(A) | kW | HP | 230V(A) | 380V (A) | 400v(A) |
| 0.37 | 0.5 | 3.9 | 3.6 | 0.37 | 0.5 | 2 | 1 | 1 |
| 0.55 | 0.75 | 5.2 | 4.8 | 0.55 | 0.75 | 2.8 | 1.6 | 1.5 |
| 0.75 | 1 | 6.6 | 6.1 | 0.75 | 1 | 3.6 | 2 | 1.9 |
| 1.1 | 1.5 | 9.6 | 8.8 | 1.1 | 1.5 | 5.2 | 2.6 | 2.5 |
| 1.5 | 2 | 13 | 12 | 1.5 | 2 | 6.8 | 3.2 | 3.4 |
| 1.8 | 2.5 | 16 | 14 | 2.2 | 3 | 9.6 | 5 | 4.8 |
| 2.2 | 3 | 19 | 17 | 3 | 4 | 11 | 6.6 | 6.3 |
| 3 | 4 | 24 | 22 | 3.7 | 5 | 12 | 7.7 | 7.4 |
| 4 | 5.5 | 3. | 27 | 4 | 55 | 15 | 8.5 | 8.1 |
| 4.4 | 6 | 35 | 32 | 5.5 | 7.5 | 22 | 11 | 11 |
| 5.2 | 7 | 4. | 36 | 7.5 | 10 | 28 | 15 | 15 |
| 5.5 | 7.5 | 42 | 39 | 9 | 12 | 33 | 18 | 17 |
| 6 | 8 | 44 | 41 | 11 | 15 | 42 | 22 | 21 |
| 7 | 9 | 49 | 45 | 15 | 20 | 54 | 30 | 28 |
| 7.5 | 10 | 54 | 50 | 18.5 | 25 | 68 | 37 | 35 |
| | | | | 22 | 30 | 80 | 44 | 42 |
| | | | | 30 | 40 | 104 | 59 | 57 |
| | | | | 37 | 50 | 130 | 72 | 69 |
| | | | | 45 | 60 | 154 | 85 | 81 |
| | | | | 55 | 75 | 192 | 104 | 100 |
| | | | | 75 | 100 | 248 | 138 | 131 |
| | | | | 90 | 125 | 312 | 170 | 162 |
| | | | | 110 | 150 | 360 | 205 | 195 |
| | | | | 132 | 180 | 430 | 245 | 233 |
| | | | | 147 | 200 | 480 | 273 | 259 |
| | | | | 160 | 220 | 522 | 300 | 286 |
| | | | | 185 | 250 | 600 | 342 | 325 |
| | | | | 200 | 270 | 648 | 370 | 352 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

| | |
|---|---|
| เรียน คุณTudchawit 082-400-5291 | กำหนดส่งสินค้าภายใน - |
| Sunfood International | กำหนดยืนราคา 7วัน |
| slanepond@hotmail.com | เงื่อนไขชำระเงิน สด |

| ลำดับ | รายการ | จำนวน | หน่วย | ราคา/หน่วย | ส่วนลด | จำนวนเงิน |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Motor Breaker "ABB" MS132-0.16 0.1-0.16A | 1 | ตัว | 1,040.00 | | 1,040.00 |
| 2 | Motor Breaker "ABB" MS132-1 0.63-1.0A | 2 | ตัว | 1,090.00 | | 2,180.00 |
| 3 | Motor Breaker "ABB" MS132-1.6 1.0-1.6A | 2 | ตัว | 1,090.00 | | 2,180.00 |
| 4 | Motor Breaker "ABB" MS132-4 2.5-4A | 2 | ตัว | 1,090.00 | | 2,180.00 |
| 5 | Motor Breaker "ABB" MS132-6.3 4-6.3A | 5 | ตัว | 1,090.00 | | 5,450.00 |
| 6 | Motor Breaker "ABB" MS132-10 6.3-10A | 5 | ตัว | 1,300.00 | | 6,500.00 |
| 7 | Motor Breaker "ABB" MS132-16 10-16A | 6 | ตัว | 1,300.00 | | 7,800.00 |
| 8 | Motor Breaker "ABB" MS132-25 20-25A | 4 | ตัว | 1,580.00 | | 6,320.00 |
| 9 | Motor Breaker "ABB" MS132-32 25-32A | 2 | ตัว | 1,990.00 | | 3,980.00 |
| 10 | Motor Breaker "ABB" MS495-75 57-75A | 3 | ตัว | 5,880.00 | | 17,640.00 |
| 11 | Magnetic "ABB" AF09-30-10 coil 100-250Vac/dc | 17 | ตัว | 370.00 | | 6,290.00 |
| 12 | Magnetic "ABB" AF16-30-10 coil 100-250Vac/dc | 6 | ตัว | 650.00 | | 3,900.00 |
| 13 | Magnetic "ABB" AF26-30-11 coil 100-250Vac/dc | 12 | ตัว | 930.00 | | 11,160.00 |
| 14 | Magnetic "ABB" AF30-30-11 coil 100-250Vac/dc | 6 | ตัว | 1,160.00 | | 6,960.00 |
| 15 | Magnetic "ABB" AF80-30-11 coil 100-250Vac/dc | 9 | ตัว | 2,880.00 | | 25,920.00 |
| | ชำระโดยโอนเงินเข้าบัญชี<br>ชื่อบัญชี บจ. ปลื้มบุญ เน็ทเวอร์ค บิส<br>ธนาคารกสิกรไทย สาขาถนนแจ้งวัฒนะ บัญชีออมทรัพย์<br>เลขที่บัญชี 470-2-31098-4 ID Tax 0105540000501<br>Line ID:@ PNBmart<br>Web Site: www.PNBmart.com<br>e-mail: PNBmart@gmail.com<br>ขอบพระคุณที่ท่านสนใจสอบถามราคาครับ<br>ขอความกรุณาเช็คสต็อคสินค้าก่อนสั่งซื้อ | | | | | |
| | หมายเหตุ<br>ค่าจัดส่ง Kerry Express 500 บาท | | | รวมราคาสินค้า | | 109,500.00 |
| | | | | ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % | | 7,665.00 |
| | | | | รวมเป็นเงินทั้งสิ้น | | 117,165.00 |
| | อนุมัติสั่งซื้อ<br>.....<br>( ) | | | ผู้เสนอราคา<br>(นายชุมพล ชาลี) | | |

ใบเสนอราคาอุปกรณ์ต่างๆในการปรับปรุงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำระบบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสนอ: **บริษัท ซันฟูด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด**
69 หมู่ 6 ต.ลำพราน
อ.วังม่วง จ.สระบุรี 18220
คุณ ธัชวิชญ์ ฝ่ายวิศวกรรม
โทร: 082-400-5291

## ราคาสำหรับ โครงการ จำนวนสั่ง 1,000 หลอด ขึ้นไป

| ชื่อสินค้า: | หลอดไฟ LED สำเร็จรูป ยี่ห้อ ไอแซม AISAM ขนาด 50 วัตต์<br>Tri-Proof กันน้ำ กันฝุ่น กันการแตกระเบิด ไม่เกิดหยดน้ำในโคมหลอด แสงสีขาว 6500K | | | บาท (Thai Baht) |
|---|---|---|---|---|
| **รหัสสินค้า** | **จำนวนสั่งขั้นต่ำ (ลัง/หลอด)** | **ราคาต่อหลอด** | **ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%** | **ราคาหลังบวกภาษีมูลค่าเพิ่ม** |
| SFAS50YT-BCFUT | 40 ลัง (บรรจุลังละ 15 หลอด) | 1,550.00 | 108.50 | 1,658.50 |

ระยะเวลาในการจัดส่ง: ภายใน 7-45 วันทำการ หลังจากได้รับใบสั่งซื้อ
ราคาสินค้า สำหรับ การจัดส่งภายในเขตกรุงเทพฯ และ ปริมณฑล เท่านั้น อาจจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับการจัดส่งต่างพื้นที่
การชำระเงิน: มัดจำ 20% ภายใน 5 วันทำการ หลังวันที่ ใบสั่งซื้ออย่างเป็นทางการ
ส่วนที่เหลือ ชำระเป็นเงินโอน เข้าบัญชีธนาคารบริษัทฯ ภายใน 3 วันทำการ หลังส่งมอบเรียบร้อย
การรับประกันสินค้า: 3 ปี นับตั้งแต่วันส่งมอบสินค้า (ตามเงื่อนไขการรับประกันสินค้าของบริษัทฯ)
หมายเหตุ: สินค้านี้เป็น ราคาขายสำหรับโครงการ เท่านั้น หากมีการลดจำนวน บริษัทฯ สงวนสิทธิ์ในการปรับราคาตามจำนวน
ราคาสินค้า ไม่รวม ค่าใช้จ่ายในการจัดการ และ ติดตั้งโคมไฟ และ วัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
ใบเสนอราคานี้ มีกำหนด 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ระบุในใบเสนอราคา
บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงราคา และเงื่อนไข โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

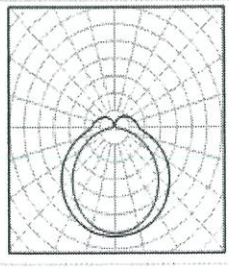
## ใบเสนอราคาหลอดไฟ LED 50 w

217

DIALux - 50W 50W
Luminous emittance 1
Fitting: 1xLED 50W
Light output ratio: 100%
Lamp luminous flux: 5347 lm
Luminaire luminous flux: 5347 lm
Power: 51.4 W
Luminous efficacy: 104.0 lm/W

Colourimetric data
1xLED 50W: CCT 6500 K, CRI 90

See our luminaire catalog for an image of the luminaire.



## คุณสมบัติหลอดไฟที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้