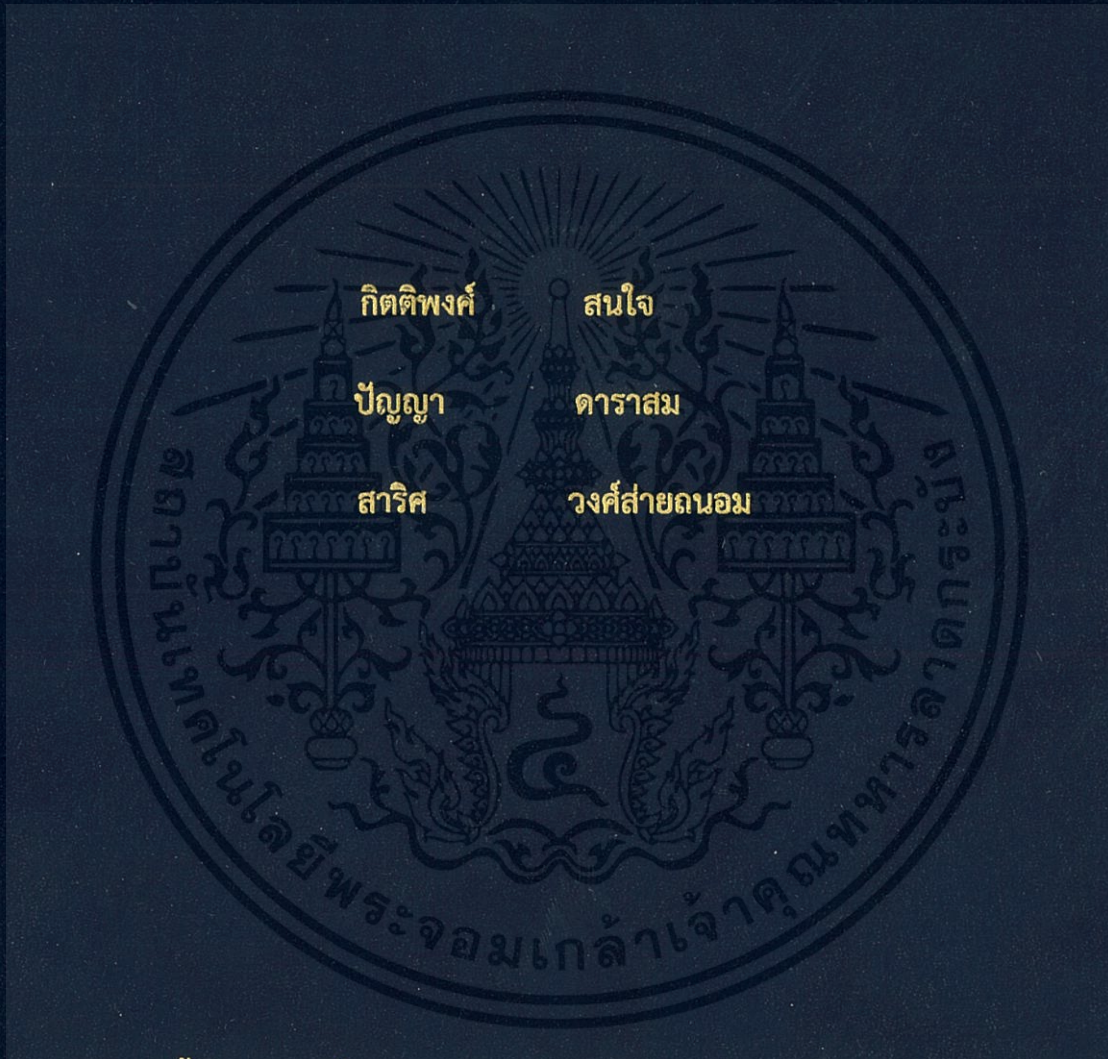


ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ

STUDY AND DESIGN STREET LIGHT FOR SIMPLIFY MAINTENANCE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ

STUDY AND DESIGN STREET LIGHT FOR SIMPLIFY MAINTENANCE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STUDY AND DESIGN STREET LIGHT FOR SIMPLIFY MAINTENANCE



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ

STUDY AND DESIGN STREET LIGHT FOR SIMPLIFY MAINTENANCE

ผู้จัดทำ นายกิตติพงศ์ สนใจ 57010089

นายปัญญา ดาราสม 57010762

นายสาริศ วงศ์สายถนอม 57011340

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ

โดย

นายกิตติพงศ์ สนใจ 57010089

นายปัญญา ดาราสม 57010762

นายสาริศ วงศ์สายถนอม 57011340

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแบบจำลองเครื่องเปลี่ยนหลอดไฟโดยใช้รถมอเตอร์ในการทำงานในการนำตัวโคมลงมาเพื่อซ่อมบำรุง โดยในการออกแบบได้ทำการคัดเลือกอุปกรณ์ที่มาเป็นแบบจำลอง โดยผ่านการคำนวณและวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ขนาดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่เหมาะสมเพื่อมาใช้ในการออกแบบจำลองอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟโดยใช้โปรแกรม solid work และได้ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ Arduino IDE เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยจากการออกแบบจะได้แบบจำลองของอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟแบบ 3D เพื่อแสดงให้เห็นการวางตำแหน่งของอุปกรณ์และขนาดของอุปกรณ์ และกลไกต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์จริง

# STUDY AND DESIGN STREET LIGHT FOR SIMPLIFY MAINTENANCE

By

Mr. Kittipong Sonjai 57010089

Mr. Panya Darasom 57010762

Mr. Saris Wongsaitanom 57011340

Advisor

Asst.Prof.Songmoung Nundrakwang

Academic Year 2017

## ABSTRACT

This project presents a model for replacing the lamp using a motor hoist in operation in bringing the lamp down for maintenance. For the designing, the equipment was selected as a model through calculation and analysis in order to obtain the appropriate size and features of the device to be used for the designing of the model of the lamp replacement device using solid work program and device has been coded by arduino IDE for the controlling. From the designing, the device model can be simulated to change the 3D lamp to show the positioning of the device and the size of the devices and mechanisms to be a guideline for creating the actual device.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดี โดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษา และเพื่อนร่วมงานของผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

ขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อนนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจกันมาตลอด

ท้ายที่สุดเหนือสิ่งอื่นใด บิดา มารดา พี่ๆ และน้องๆ ผู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน จนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ในทุกวันนี้ ขอขอบพระคุณที่ท่านให้การอบรมสั่งสอน และสนับสนุนในทุกกิจกรรมมาตลอด

ผู้จัดทำ

นายกิตติพงศ์ สนใจ

นายปัญญา ดาราสม

นายสาริต วงศ์สายถนอม

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 Arduino	3
2.1.1 Hardware Arduino	3
2.2 การควบคุมมอเตอร์	5
2.2.1 การควบคุมทิศทางมอเตอร์	5
2.2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์	10
2.2.3 การอ่านตำแหน่งจากเซนเซอร์ Encoder	11
2.3 โปรแกรม Solidworks	12
2.4 พื้นฐานการออกแบบ	13
2.4.1 ปริมาณพื้นฐานวิศวกรรมที่ควรทราบ	13
2.4.1.1 มวล (Mass)	13
2.4.1.2 เวลา (Time)	13
2.4.1.3 ความยาว (Length), พื้นที่ (Area), ปริมาตร (Volume)	14
2.4.1.4 มุม (Angle)	14
2.4.1.5 อุณหภูมิ (Temperature)	14
2.4.1.6 งาน หรือพลังงาน (Works, Energy)	14
2.4.1.7 กำลังงาน (Power)	15
2.4.1.8 ความเร็ว และความเร่ง (Speed, Acceleration)	15

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.1.9 แรง (Force)	15
2.4.1.10 แรงบิด (Torque)	15
2.4.2 พื้นฐานทางกลศาสตร์	15
2.4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ	18
2.4.3.1 สลักเกลียว (Fasteners)	18
2.4.3.2 เพลา และการส่งกำลังแบบหมุน (Shafts and Rotating Transmission)	18
2.4.3.3 ข้อต่อเพลา (Couplings)	20
2.4.3.4 แบริ่งสัมผัสแบบกลิ้งหรือตลับลูกปืน (Rolling – Contact Bearings)	20
2.4.3.5 อุปกรณ์ส่งกำลังแบบอ่อน (Flexible Mechanical Transmission Components)	23
2.4.3.6 ลวดสลิง และอุปกรณ์ยกของในการต่อลวดสลิงหรือทำห่วง	24
2.4.5 มอเตอร์	25
<b>บทที่ 3 การวิเคราะห์เลือกอุปกรณ์เพื่อการออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน</b>	<b>28</b>
3.1 การเลือกอุปกรณ์เพื่อมาทำการออกแบบ	28
3.1.1 การเลือกมอเตอร์	28
3.1.2 การเลือกสายพานส่งกำลัง	30
3.1.3 การเลือกพูลเลย์	38
3.1.4 กว้านเก็บสลิง	40
3.1.5 ฐานติดตั้งอุปกรณ์	45
3.1.6 ฝาครอบอุปกรณ์	46
3.1.7 การประกอบชิ้นงาน	47
3.1.8 การออกแบบฉากยึดสลิงและข้อต่อโคมไฟ	48
3.1.9 การคำนวณระบบส่งกำลัง	52
3.2 การเขียนโปรแกรมสำหรับอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ	55
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	<b>58</b>
4.1 การใช้งานกล่องควบคุม	58
4.2 การจำลองชิ้นงานด้วยโปรแกรม Solidworks	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.1 แบบจำลองเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ	60
4.2.1.1 แบบจำลองก้านเก็บสลิง	61
4.2.1.2 แบบจำลองระบบส่งกำลัง	61
4.2.1.3 แบบจำลองฐานติดอุปกรณ์	62
4.2.1.4 แบบจำลองฝาครอบและแผงสวิตช์ควบคุม	62
4.2.2 แบบจำลองกิ่งโคมเสาไฟ	63
4.2.3 แบบจำลองการติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ	63
4.2.4 แบบจำลองการทำงาน	64
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป</b>	65
5.1 สรุปผล	65
5.2 ปัญหาที่พบเจอ	65
5.3 ผลที่คาดหวัง	65
5.4 ข้อเสนอแนะ	65

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บอร์ด Arduino Uno R3	4
2.2 หน้าต่างโปรแกรม Arduino	5
2.3 การควบคุมทิศทางมอเตอร์ H-Bridge	6
2.4 การขับมอเตอร์ด้วยแรงดัน 5 V	7
2.5 การทำงานของ H-bridge (Switching State)	8
2.6 การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดัน H-Bridge	8
2.7 การลัดวงจร (Shoot Through) ของวงจร H-Bridge	9
2.8 การทำงานของวงจร Shoot through Protection	9
2.9 ไดอะแกรมเต็มเฟส H-Bridge	10
2.10 เพอร์เซนต์ Duty Cycle	11
2.11 การอ่านตำแหน่งจากเซนเซอร์ Encoder	12
2.12 หน้าต่างโปรแกรม Solidworks	13
2.13 ขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์	16
2.14 ตัวอย่างอุปกรณ์ในการต่อลวดสลิงสำหรับยกของ	24
2.15 โครงสร้างของลวดสลิง	25
2.16 ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์	26
2.17 ขั้วรับแรงดันไฟตรงของคอมมิวเตเตอร์ที่รับมาจากแปรงถ่าน	27
3.1 Worm Gear Motor	29
3.2 ตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าโหด (Ko)	31
3.3 ตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าสัดส่วนความเร็ว (Kr)	31
3.4 ตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าลูกลิ่ง (Ki)	31
3.5 ตารางแนะนำการเลือกชนิดของสายพาน	32
3.6 ตารางความจุในการส่งอ้างอิง (W)	33
3.7 ตารางจำนวนฟันต่ำสุดของพูลเลย์เล็ก	33
3.8 ภาพแสดงระยะห่างระหว่างแกน	36
3.9 สายพานส่งกำลังแบบไหม้มีง	37
3.10 ข้อกำหนดทางเทคนิคของสลิง	40

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.11 ข้อกำหนดทางเทคนิคของก้านเก็บสลิง	42
3.12 ตัวแปลที่ใช้หาความจุก้านเก็บสลิง	43
3.13 แบบจำลองก้านเก็บสลิงที่ได้จากการคำนวณ	44
3.14 มาตรฐานช่องเปิดเสาโคมไฟ	45
3.15 ฐานติดตั้งอุปกรณ์	46
3.16 ฝาครอบอุปกรณ์	46
3.17 การประกอบชิ้นงาน	47
3.18 ฉากยึดสลิง	48
3.19 การติดตั้งฉากยึดสลิง	49
3.20 ข้อต่อโคมไฟ	50
3.21 ช่องอ	50
3.22 กล่องครอบโคมไฟ	51
3.23 การติดตั้งโคมไฟ	51
3.24 Arduino	55
3.25 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	55
4.1 สวิตช์สั่งงาน	58
4.2 แผนผังการทำงาน	59
4.3 แบบจำลองเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ	60
4.4 แบบจำลองดว้ก้านเก็บสลิง	61
4.5 แบบจำลองระบบส่งกำลัง	61
4.6 แบบจำลองฐานติดอุปกรณ์	62
4.7 แบบจำลองฝาครอบและแผงสวิตช์ควบคุม	62
4.8 แบบจำลองกึ่งโคมเสาไฟ	63
4.9 แบบจำลองการติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ	63
4.10 แบบจำลองการนำโคมไฟลงมาเพื่อซ่อมบำรุง	64
4.11 แบบจำลองการนำโคมไฟขึ้นไปติดตั้งด้านบนเสา	64

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การตอบสนองของมอเตอร์	10
2.2 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติจารบีและน้ำมันหล่อลื่น	22
3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ	29
3.2 ตารางแสดงความยาวโดยรอบของสายพานส่งกำลัง	35
3.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของสายพานส่งกำลังที่เราเลือกใช้งาน	38
3.4 ตารางแสดงคุณสมบัติของพูลเลย์ที่เลือกใช้ในการออกแบบ	39
3.5 ตารางแสดงลจิกการกัดสวิตช์ของมอเตอร์	57



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท

ไฟถนนนั้นเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้กันทั่วไป และมีมากทั่วทุกพื้นที่ แต่มักจะพบว่า อุปกรณ์นั้นเกิดการเสียหายบ่อยด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น การรับแรงดันไฟเกินขนาด เกิดปัญหาจากแมลง เป็นต้น ไฟถนนต่างๆ ทั้งตามหมู่บ้านหรือตามถนนสาธารณะเมื่อทราบว่าเกิดความเสียหาย มักจะไม่ติดต่อช่างมาซ่อมในพื้นที่ เนื่องจากกระบวนการซ่อมมีหลายขั้นตอนและมีความยุ่งยากทั้งในเรื่องการประสานงานรถเครนและต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีประสบการณ์ ซึ่งด้วยกระบวนการที่มีหลายขั้นตอนและการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมในแต่ละครั้งนั้นอาจต้องปิดช่องทางจราจรในบริเวณนั้นอย่างน้อยหนึ่งช่องทางจราจร อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมแต่ละครั้งค่อนข้างสูง ด้วยปัจจัยข้างต้นทำให้ผู้ประกอบการได้ละเลยหรือต้องรอให้หลอดไฟเกิดการเสียหายเป็นจำนวนหนึ่งเสียก่อนถึงค่อยมีการเริ่มประสานงานดำเนินการซ่อม ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาตามมาได้ ทั้งในเรื่องความเสียหายในระยะยาวและในเรื่องความปลอดภัย

ทั้งนี้เพื่อแก้ไขปัญหา ทางคณะผู้จัดทำจึงต้องการนำเสนอแนวคิดการสร้างอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟขึ้นมาเป็นทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆของการซ่อมบำรุงและสามารถซ่อมได้ง่าย สะดวก ไม่อันตราย และประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาไฟถนน

#### 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ

1. เพื่อศึกษาการจำลองและออกแบบกลไกเปลี่ยนหลอดไฟโดยใช้รถมอเตอร์
2. เพื่อศึกษาการเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก เพื่อมาทำการออกแบบ
3. เพื่อสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟโดยโปรแกรม Arduino IDE

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. ศึกษากระบวนการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟโดยใช้รอกมอเตอร์
2. เขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ ควบคุมทิศทาง ความเร็ว และใช้เซนเซอร์ในการวัดตำแหน่ง โดยโปรแกรม Arduino IDE
3. ศึกษาและออกแบบโครงสร้างเสาไฟ โดยโปรแกรม Solid work
4. บันทึกผล วิเคราะห์ผล สรุปผล และจัดทำปริญญาโท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎี หลักการ และความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย 4 หัวข้อ หัวข้อแรก Arduino กล่าวถึงคุณสมบัติของโปรแกรมที่นำมาใช้ หัวข้อที่สอง การควบคุมมอเตอร์ เกี่ยวข้องกับการควบคุมมอเตอร์ตามวัตถุประสงค์ หัวข้อที่สาม หลักการออกแบบ กล่าวถึงพื้นฐานการออกแบบ และปัจจัยต่างๆ ในการออกแบบ หัวข้อที่สี่ โปรแกรม Solidworks ที่ใช้ในการออกแบบ

### 2.1 Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

#### 2.1.1 Hardware Arduino

ในส่วนของ Hardware บอร์ด Arduino นั้นมีหลายประเภทด้วยกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน ซึ่งแต่ละบอร์ดก็มีความสมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น Arduino Uno R3 เป็นต้น

##### Arduino Uno R3

เป็นบอร์ดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากมีราคาไม่แพง และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาจะใช้บอร์ดนี้อ้างอิงเป็นหลัก ซึ่งบอร์ด Arduino Uno R3 ใช้ชิพ ATmega328 ทำงานที่ความถี่อยู่ที่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7-12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี Digital Input/Output 14 ขา เป็น

PWM ได้ 6 ขา มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด อีกทั้งผู้ใช้งานสามารถโปรแกรมลงบอร์ดผ่านสาย USB ได้ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บอร์ด Arduino Uno R3

ส่วนประกอบสำคัญของบอร์ด Arduino มีดังนี้

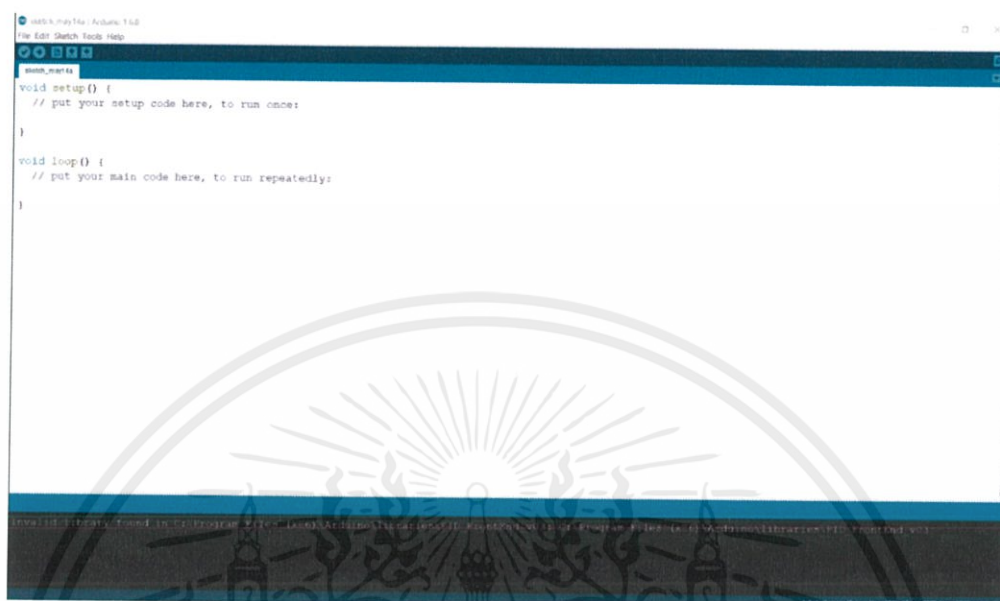
1. USB to Computer ใช้สำหรับต่อคอมพิวเตอร์ เพื่ออัปโหลดข้อมูลลง MCU (Microcontroller) และเป็นแหล่งจ่ายไฟให้บอร์ด
2. ICSP Port ของ ATmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com Port บน ATmega16U2
3. Digital เป็นพอร์ต I/O ที่ใช้กับสัญญาณแบบ Digital
4. Reset Button ใช้เมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
5. Analog Pins เป็นพอร์ต I/O ที่ใช้กับสัญญาณแบบ Analog
6. Power Port ประกอบด้วย +3.3 V, +5 V, GND, Vin ใช้สำหรับต่อกับวงจรภายนอก
7. 7-12 VDC ใช้สำหรับรับไฟจาก Adapter

### 2.1.2 Software Arduino

Software ที่ใช้เขียนโปรแกรมให้กับ Arduino มีชื่อว่า Arduino IDE หรือ Arduino Integrated Development Environment จากที่กล่าวไปข้างต้น Arduino เป็น Open Source ผู้ใช้งานจึงสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้ฟรีผ่านเว็บไซต์ของ Arduino ได้โดยตรง ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการแบบ Windows mac OS X และ Linux 32/64 Bit ซึ่งภายในโปรแกรมมีตัวอย่างไฟล์มากมายที่สามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาต่อได้ เช่น คำสั่ง Blink และผู้ใช้งานยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถตั้งค่าบอร์ดที่ใช้งานได้ ในการเขียนโปรแกรมของ Arduino นั้น จะใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรม ดังรูปที่ 2.2



```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

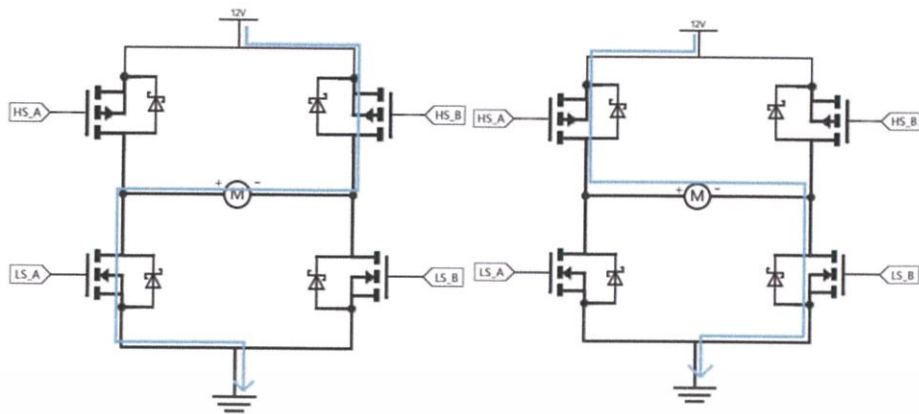
รูปที่ 2.2 หน้าต่างโปรแกรม Arduino

## 2.2 การควบคุมมอเตอร์

ในการควบคุมมอเตอร์จะประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนสัญญาณและส่วนกำลัง ส่วนสัญญาณคือส่วนสำคัญในการประมวลผล ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม ใช้กระแสและแรงดันที่ต่ำซึ่งไม่สามารถนำสัญญาณนั้นไปขับมอเตอร์ที่ใช้กำลังมากได้ จึงต้องมีวงจรขับมอเตอร์ที่ช่วยขยายกระแส และแรงดันเพื่อขับมอเตอร์ ซึ่งวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์คือ H-Bridge และการควบคุมมอเตอร์นั้น แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1. การควบคุมทิศทางมอเตอร์ 2. การควบคุมความเร็วมอเตอร์ ใช้ทฤษฎี Pulse Width Modulation 3. การอ่านตำแหน่งจาก เซนเซอร์ Encoder

### 2.2.1 การควบคุมทิศทางมอเตอร์

การควบคุมทิศทาง ต้องมีวงจรที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ เรียกว่าวงจร H-Bridge วงจรนี้ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อสลับขั้วแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ทำให้สามารถสลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ ประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนตัดต่อกระแส (Switching Element) ใช้มอสเฟต และส่วนมอเตอร์จะจ่ายกระแสให้มอเตอร์ในสองทิศทาง แสดงดังรูปที่ 2.3



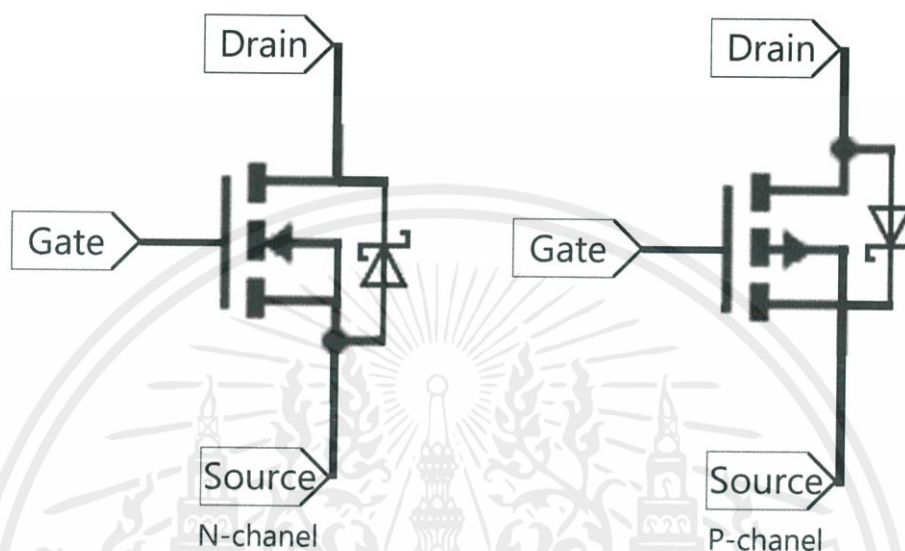
รูปที่ 2.3 การควบคุมทิศทางมอเตอร์ H-Bridge

มอสเฟต (Metal-oxide-semiconductor Field-effect Transistor) คืออุปกรณ์ที่ตัดต่อกระแส ในที่นี้สามารถนำมาใช้เป็น Switching Element ได้ (อาจจะใช้ BJT แทนได้เช่นกัน) ข้อดีของมอสเฟตคือ จ่ายกระแสได้สูง อัตราสูญเสียต่ำ เมื่อเทียบกับ BJT (Bipolar-Junction Transistor) มอสเฟตประกอบด้วย 3 ขา คือ Gate, Drain และ Source โดยขา Source จะทำไปต่อกับแหล่งจ่าย โดยที่ ขา Source ของ N-channel จะจ่ายไฟลบ ส่วน ขา Source ของ P-channel จะจ่ายไฟบวก ขาเดรน ของมอสเฟต จะตัด หรือต่อไฟจากขา source ซึ่งควบคุมด้วยความต่างศักย์ ระหว่างขา gate เทียบกับ ขา Source เรียกว่า  $V_{gs}$  ถ้า  $V_{gs}$  เป็น 0 V มอสเฟตจะไม่นำกระแส สำหรับการนำกระแสแบบ N-channel  $V_{gs}$  จะต้องมากกว่า แรงดัน Threshold คือประมาณ 2 V ถึง 4 V และแบบ P-channel  $V_{gs}$  จะต้องต่ำกว่า แรงดัน Threshold คือประมาณ -2 V ถึง -4 V

อย่างไรก็ตาม กระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตจะแปรผันกับ  $V_{gs}$  ด้วยนั้น คือถ้าความต่างศักย์มาก กระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตก็จะมาก ถ้ากระแสไหลผ่านได้น้อย ในกรณีที่มอสเฟตทำงานไม่เต็มที่ จะทำให้มอสเฟตร้อนและเสียหายได้ ดังนั้นจึงออกแบบให้แรงดันขา Gate ของมอสเฟตอยู่ในช่วง 0 V ถึง  $V_m$  เพื่อให้มอสเฟตนำกระแสได้ดีที่สุด

การทำงานของ Mosfet ในวงจร H-bridge โครงสร้างมอสเฟตจะใช้มอสเฟต P-channel ประกอบด้าน High side และ N-channel ประกอบด้าน Low-side โดยขา Source ของ P-channel จ่ายแรงดัน 12 V หรือแรงดันที่เอาไว้เลี้ยงมอเตอร์ ( $V_m$  7 V ถึง 15 V) ส่วนขา Source ของ N-channel จะจ่ายแรงดัน 0 V หรือ Ground

การขับมอเตอร์ด้วยระดับแรงดัน 5 V สำหรับแรงดันสัญญาณ 0-5 V จากไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือลอจิกเกต ในการจะแปลงไปขับมอเตอร์ จำเป็นจะต้องเพิ่มระดับแรงดันให้สูงถึงแรงดันมอเตอร์ ต้องมีความสามารถในการจ่ายกระแส แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การขับมอเตอร์ด้วยแรงดัน 5 V

การทำงานของ H-bridge (Switching state) เมื่อเราต้องการให้เอาต์พุตของมอเตอร์เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้าม เช่น จาก 12 V เป็น Ground สัญญาณที่ควบคุม Gate Driver จะมีรูปร่างแสดงดังรูปที่ 2.5 จุดหนึ่งที่เป็นข้อสังเกตของวงจรนี้ คือ Output จะกลับเฟสกับ Input ดังนั้น LS จะนำกระแสเมื่อ Input เป็นลอจิก LOW (0V) ดังรูปที่ 2.5

HS Gate driver

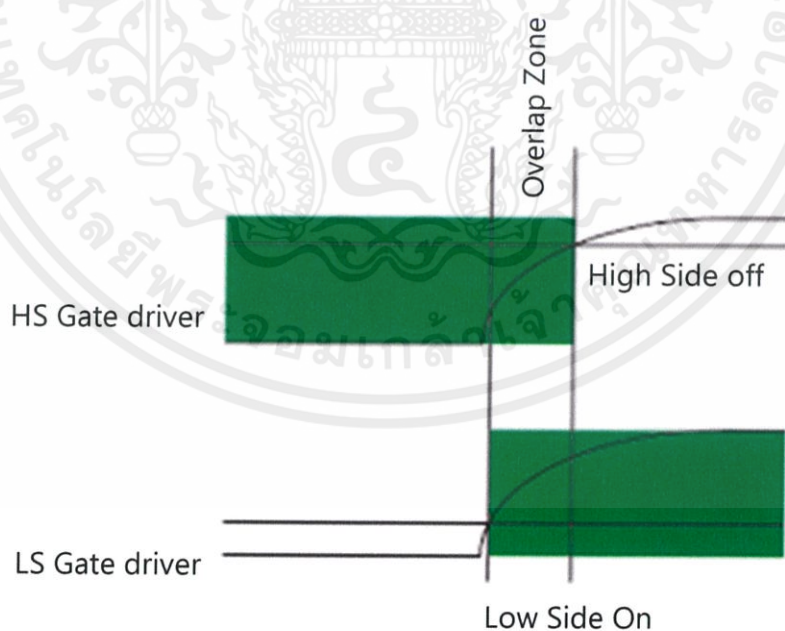


LS Gate driver



รูปที่ 2.5 การทำงานของ H-bridge (Switching State)

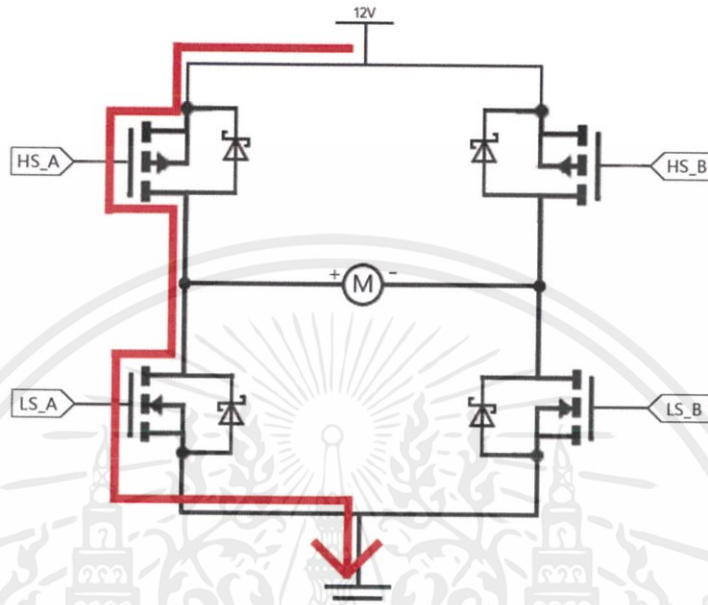
ในทางปฏิบัติแล้ว เนื่องจากโครงสร้างขา Gate และ Source นั้นจะเป็นเหมือนตัวเก็บประจุ ดังนั้นเมื่อจ่ายกระแส (วงจร Gate Driver จ่ายกระแสได้จำกัด) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดัน Gate แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดัน H-Bridge

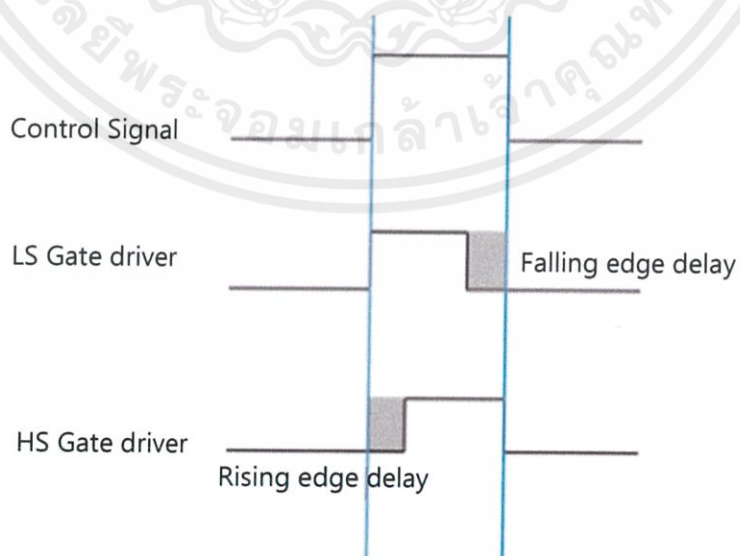
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าเกิดช่วง Overlap คือช่วงที่ HS และ LS ทำงานพร้อมกัน จะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น เรียกเหตุการณ์นี้ว่า Shoot Through ซึ่งเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การลัดวงจร (Shoot Through) ของวงจร H-bridge

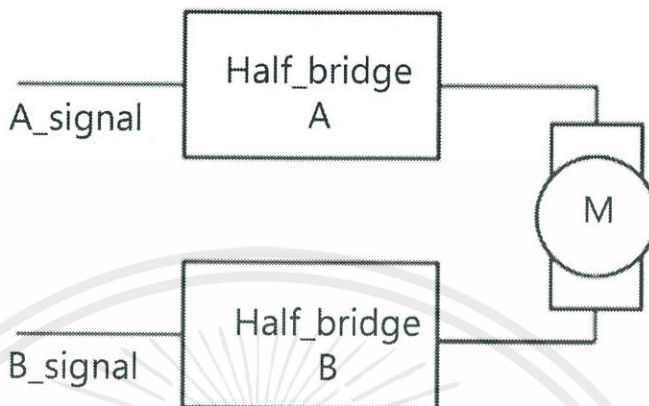
การทำงานของวงจร Shoot Through Protection เพื่อไม่ให้เกิดการโอเวอร์แลปขึ้น ดังนั้นต้องปรับสัญญาณควบคุมไม่ให้เกิดการเหลื่อมกันเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การทำงานของวงจร Shoot Through Protection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบที่รับสัญญาณดิจิทัล ที่สามารถควบคุมขั้วของ Half Bridge ได้เมื่อนำ Half Bridge สองตัวมารวมกัน ก็จะสามารถควบคุมมอเตอร์อย่างง่ายได้



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมเต็มเฟส H-bridge

โดยมอเตอร์จะตอบสนองต่ออินพุตตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 การตอบสนองของมอเตอร์

IN1	IN2	การทำงานของมอเตอร์
LOW	HIGH	หมุนเดินหน้า
HIGH	LOW	หมุนกลับทาง
HIGH	HIGH	เบรก
LOW	LOW	เบรก

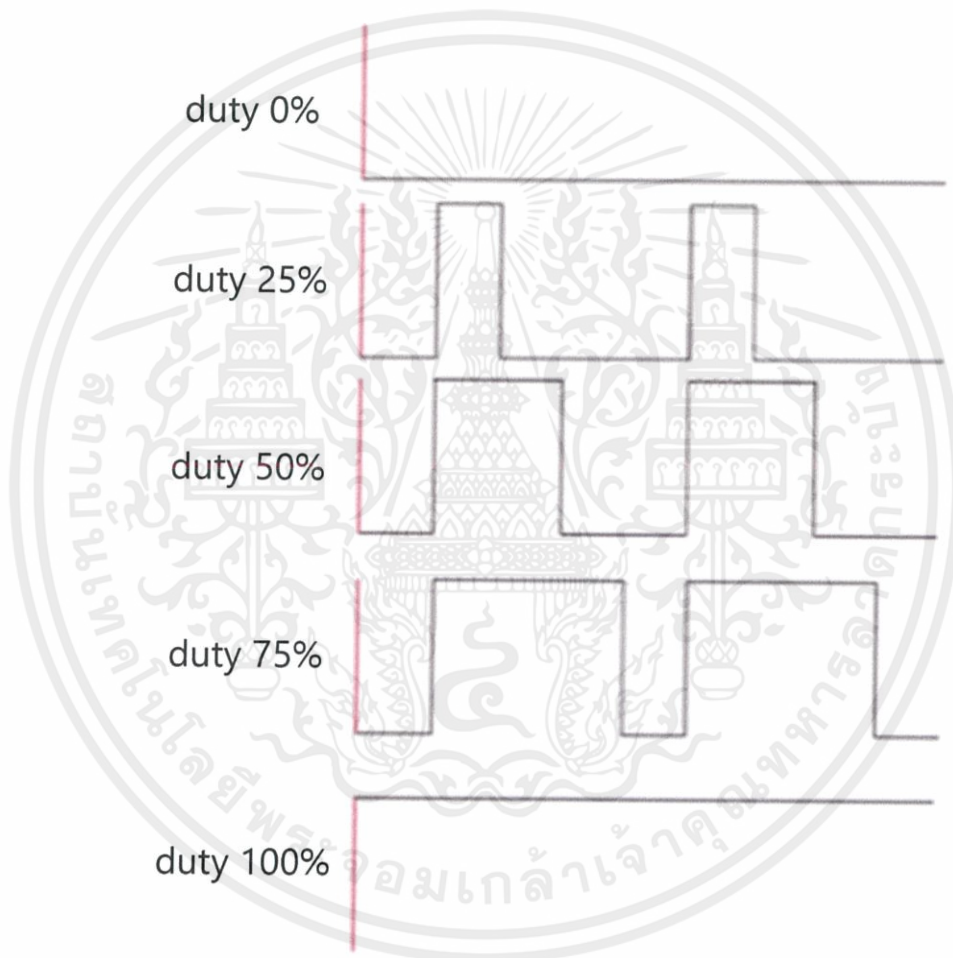
### 2.2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์

การควบคุมความเร็วนั้น ใช้วิธี PWM (Pulse Width Modulation) เป็นเทคนิคที่ Arduino ใช้ในการควบคุมวงจร และเขียนค่าอนาล็อกด้วยพอร์ตดิจิทัล

โดยปกติพอร์ตดิจิทัลจะมีแค่ 2 สถานะ คือ HIGH และ LOW การ PWM นั้นจะทำให้พอร์ตดิจิทัลสามารถเขียนเป็นอนาล็อกได้ ใช้การปรับสถานะของสัญญาณลอจิก HIGH/LOW สลับไปมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยคาบเวลาหนึ่งๆ โดยค่านั้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสถานะ HIGH/LOW โดยช่วงเวลาทั้งหมดที่สัญญาณมีสถานะ HIGH เรียกว่าความกว้างพัลส์ และเมื่อเทียบกับคาบเวลาเป็นเปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่า Duty Cycle ซึ่งการปรับคาบเวลานั้นจะมีผลกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปยังอุปกรณ์ที่จะควบคุม เช่น ถ้าปรับ 50% Duty Cycle จะทำให้มีช่วงที่เป็น High 50% ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปจะเหลือแค่ 50% ของทั้งหมด เมื่อนำไปควบคุมมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 50% ของความเร็วสูงสุด แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เปอร์เซนต์ Duty Cycle

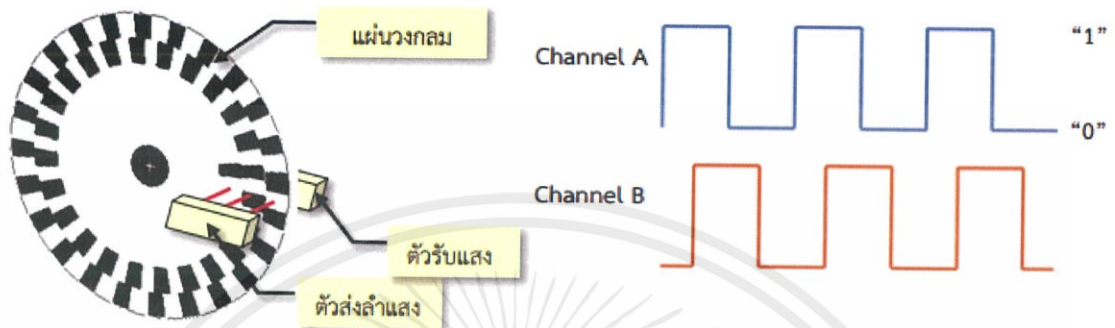
### 2.2.3 การอ่านตำแหน่งจากเซนเซอร์ Encoder

เอนโค้ดเดอร์แบบโรตารี (Rotary Encoder) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่วัดตำแหน่งมุมหรือความเร็วของการหมุนของแกนต่างๆ ภายในประกอบด้วยแผ่นวงกลมซึ่งติดตั้งกับแกนหมุน และเซนเซอร์แสงที่มีตัวรับและตัวส่ง บนแผ่นวงกลมจะมีช่องโปร่งแสงสลับกับช่องทึบแสง ซึ่งวางอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งรอบ เช่น เอนโค้ดเดอร์ที่มีจำนวนช่อง 180 ช่องต่อรอบ สามารถวัดมุมได้ละเอียดที่สุด

$$360/180 = 2.0 \text{ องศา}$$

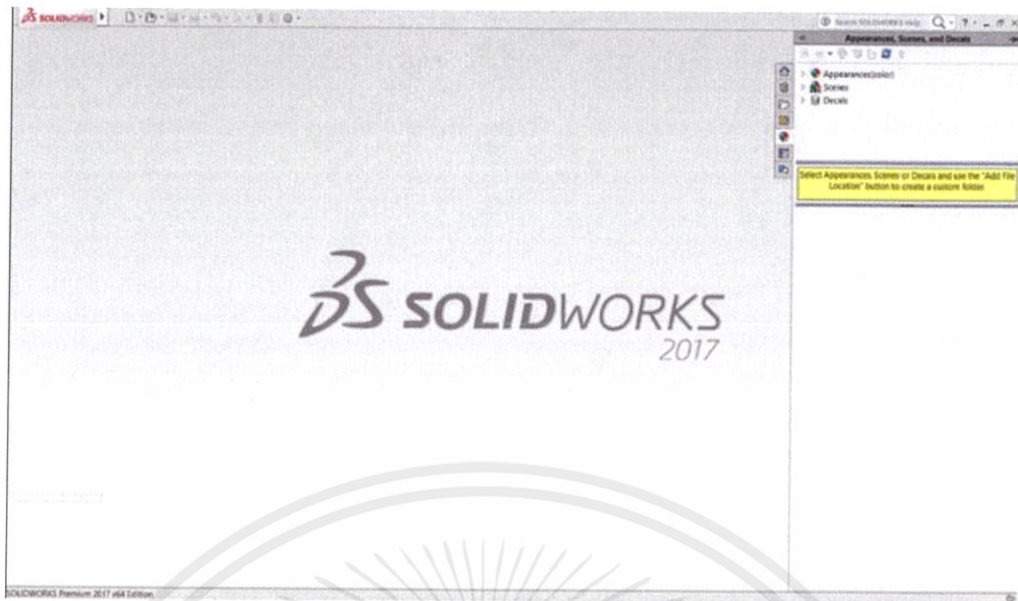


รูปที่ 2.13 การอ่านตำแหน่งจากเซนเซอร์ Encoder

เมื่อแกนของเอนโค้ดเดอร์เริ่มหมุน ช่องบนแผ่นวงกลมจะวิ่งผ่านตัดแสงของเซนเซอร์ ตัวรับของเซนเซอร์จะส่งสัญญาณพัลส์ตามจังหวะการติดหรือดับของแสงที่ลอดผ่านจากช่องเมื่อนำสัญญาณจากเซนเซอร์ไปต่อเข้ากับ Arduino จึงสามารถรู้ตำแหน่งได้

### 2.3 โปรแกรม Solidworks

โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับการศึกษาและระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากผู้ใช้งานสามารถหาความรู้เกี่ยวกับโปรแกรม Solidworks จากเว็บไซต์ต่างๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถฝึกฝนและใช้งานโปรแกรมได้รวดเร็ว อีกทั้งโปรแกรม Solidworks ยังนิยมใช้ในการออกแบบชิ้นงานที่ต้องการรายละเอียดสูงเพื่อที่จะได้แบบที่ถูกต้องและพร้อมใช้งาน หน้าต่างโปรแกรมแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หน้าต่างโปรแกรม Solidworks

## 2.4 พื้นฐานการออกแบบ

การดึงโคมไฟจากเสาไฟนั้นจำเป็นต้องใช้ลวดสลิงผูกติดกับโคมไฟ อีกด้านหนึ่งติดกับรอกและมอเตอร์เพื่อเป็นตัวดึงโกลด และมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอีกมากมาย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง และเหมาะสม ต้องมีพื้นฐานในการออกแบบ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการในการออกแบบเครื่องจักรกลเบื้องต้น การเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบ

### 2.4.1 ปริมาณพื้นฐานวิศวกรรมที่ควรทราบ

#### 2.4.1.1 มวล ( Mass)

เป็นปริมาณหลักที่แสดงถึงการมีอยู่ของสสาร เราบ่งบอกขนาดของมวลได้ โดยวัดน้ำหนัก กล่าวคือ มวลสารขนาดเท่ากันมีน้ำหนักต่างกันภายใต้แรงโน้มถ่วงต่างกัน ในทางกลศาสตร์เชิงจลมวล มักจะหมายถึงปริมาณที่ต้านทานการเคลื่อนที่ หน่วยมาตรฐานคือ กิโลกรัม (kg)

#### 2.4.1.2 เวลา (Time)

โดยส่วนใหญ่การอ้างอิงเวลาเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงใดๆ เวลาเป็นปริมาณพื้นฐานที่มีความซับซ้อนมาก หน่วยสากลของเวลาคือ วินาที (Second) และยังมีหน่วย นาที ชั่วโมง วัน เดือน ปี เสี้ยวเวลาที่มึนัยสำคัญได้แก่ มิลลิวินาที (ms)

### 2.4.1.3 ความยาว (Length), พื้นที่ (Area), ปริมาตร (Volume)

ความยาว พื้นที่ และปริมาตร เป็นปริมาณที่ระบุขนาดของมิติที่พิจารณา หน่วยในระบบเมตริก คือ เมตร ตารางเมตร และลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พื้นที่เป็นปริมาณกำลังสองของความยาว ส่วนปริมาตรเป็นปริมาณกำลังสามของความยาว โดยพื้นที่คูณความยาวจะเท่ากับปริมาตรหน่วยที่ใช้กับปริมาณเหล่านี้มีหลากหลายมาก เช่น

ความยาว : เมตร กิโลเมตร มิลลิเมตร นิ้ว ฟุต หลา ไมล์ ฯลฯ

พื้นที่ : ตารางเมตร ตารางกิโลเมตร ตารางนิ้ว ตารางฟุต เอเคอร์ ฯลฯ

ปริมาตร : ลูกบาศก์เมตร ลูกบาศก์เซนติเมตร (cc) ลิตรลูกบาศก์นิ้ว ถ้วยแกลลอน ฯลฯ

### 2.4.1.4 มุม (Angle)

เป็นปริมาณที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของทิศทาง (Vector) หน่วยคือ เรเดียน (radian, rad) และองศา (Degree) มุมสูงสุดครบรอบคือ 360 องศา เท่ากับ  $2\pi = 6.28318$  rad

### 2.4.1.5 อุณหภูมิ (Temperature)

เป็นปริมาณที่บอกถึงระดับพลังงานภายในของสสาร โดยสามารถบ่งชี้ได้จากคุณสมบัติทางกายภาพหลายอย่างเช่น ความหนาแน่น ความต้านทานไฟฟ้า ใช้อุณหภูมิเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความร้อน และเย็นโดยเปรียบเทียบกับระหว่างอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในธรรมชาติความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำอุณหภูมิต่ำจะถูกสับสนกับความร้อน หรือพลังงานความร้อน โดยทั้งสองอย่างเกี่ยวข้องกันแต่ไม่ใช่สิ่งเดียวกันหน่วยมาตรฐานทางวิศวกรรมคือ เคลวิน (K) และ เซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) โดย  $0^{\circ}\text{C} = 273.15$  K แต่ค่าที่เปลี่ยนแปลง  $\Delta 1^{\circ}\text{C} = \Delta 1$  K หรือคำนวณโดย  $K = C + 273.15$

### 2.4.1.6 งาน หรือพลังงาน (Works, Energy)

งานเป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงการก่อให้เกิดการถ่ายเทของพลังงานโดยไม่พิจารณาในคาบเวลา งานมักจะถูกสับสนกับกำลังงาน ที่คิดงานต่อช่วงเวลาหน่วยสากลของงานคือ จูล์ (J) สามารถเทียบเคียงกับงานทางกลคือ N-m งานทางกลสามารถเทียบเคียงได้กับพลังงานทางความร้อน

ความร้อน (Heat) เป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงพลังงานจลน์ในระดับจุลภาคของสสารสามารถเทียบเคียงได้กับพลังงานทางกลโดยมีหน่วยมาตรฐานทางวิศวกรรมคือ จูล์เช่นเดียวกันเราใช้พลังงาน 4186 จูล์เพื่อที่จะทำให้น้ำจำนวน 1 กิโลกรัม (ประมาณ 1 ลิตร) มีอุณหภูมิสูงขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$

### 2.4.1.7 กำลังงาน (Power)

เป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงพลังงานในหน่วยเวลาหน่วยที่เป็นมาตรฐานคือ วัตต์(Watt) หรือ J/s หรือ N-m/s หน่วยอื่นได้แก่ BTUต่อชั่วโมง (BTU/h) = 2650 Watt หน่วยที่นิยมได้แก่ แรงม้า (horsepower, HP) โดย 1HP =745.7 Watt เครื่องจักรที่มีพลัง หรือออกแรงได้มากแต่ทำงานได้ช้า อาจมีกำลังงานน้อยกว่าเครื่องจักรที่มีพลังน้อย หรือออกแรงได้น้อยแต่ทำงานได้เร็วกว่า

### 2.4.1.8 ความเร็ว และความเร่ง (Speed ,Acceleration)

ความเร็วเป็นการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในหนึ่งหน่วยเวลา ความเร่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของความเร็วในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยมาตรฐานยึดถือตามหน่วยพื้นฐานคือ เมตรต่อวินาที (m/s) และ เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s<sup>2</sup>) ความเร็ว และความเร่งเชิงมุมพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของมุมต่อหน่วยเวลา ได้แก่ รอบต่อนาที (rpm) เรเดียนต่อวินาที (rad/s) ความถี่ (Hz, 1/s)

### 2.4.1.9 แรง (Force)

เป็นปริมาณที่แสดงถึง ปฏิกริยาหรือการกระทำระหว่างสสารภายใต้สภาวะที่พิจารณา หน่วยมาตรฐานของแรงคือ นิวตัน (N) หรือ (kg-m/s<sup>2</sup>) หน่วยอื่น ๆได้แก่ ปอนด์ (lbf) คิบ (kip) ปอนด์ที่เป็นแรงต่างจากปอนด์ที่เป็นน้ำหนักโดย 1 lbf = 32.174 lbfm x ft/s<sup>2</sup> และ 1N = 0.2248 lbf

### 2.4.1.10 แรงบิด (Torque)

เป็นปริมาณของแรงเชิงมุมหรือโมเมนต์หน่วยตามมาตรฐาน SI คือ นิวตันเมตร (N-m) หน่วยอื่นๆ ได้แก่ ปอนด์ฟุต (lb-ft) ปอนด์นิ้ว (lb-in) กิโลกรัมเซนติเมตร (kg-cm) ฯลฯ

## 2.4.2 พื้นฐานทางกลศาสตร์

### พื้นฐาน สถิตติค (Static) และไดนามิกส์ (Dynamic)

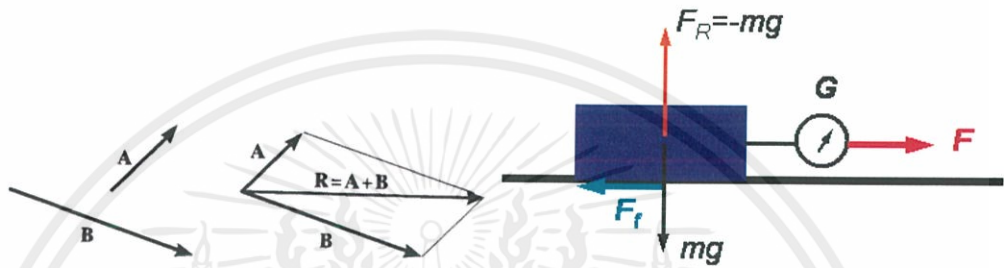
Statics ศึกษาแรงกริยา แรงปฏิกริยาในโครงสร้างต่าง และความสัมพันธ์กับขนาดรูปทรงการเชื่อมโยงกันของโครงสร้างต่างๆ เช่นคาน โครงถัก เสา เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องจักรโดยการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง และชิ้นส่วนต่างๆ

Dynamics ศึกษาการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างสัมพันธ์กับ แรง ความเร่งความเร็ว และระยะทางที่เปลี่ยนไปรวมถึงพลังงานของระบบ ที่สัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆ ในชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ที่ต้องวิเคราะห์โดยใช้พื้นฐานดังกล่าว เช่น สายพาน ล้อช่วยแรง ฯลฯ

## แรง และการรวมแรง

แรง (F) คือ การกระทำของวัตถุอันหนึ่งและพยายามที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกระทำ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์มีหน่วยเป็น N

แรงที่พิจารณาในงานวิศวกรรมหลักๆ คือแรงโน้มถ่วง และแรงแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นความสัมพันธ์ของแรง มวลสาร และค่าความโน้มถ่วงใช้หลักการเคลื่อนที่ของนิวตันการรวมแรง ใช้หลักการรวมเวกเตอร์



รูปที่ 2.10 ขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

## มวล และการเคลื่อนที่

- มวล คือปริมาณของสสาร เป็นค่าที่บ่งบอกคุณลักษณะที่แปรผันกับปริมาตรอื่นๆ ทางฟิสิกส์เช่น ความเร่ง แรง ฯลฯ
- โมเมนตัม (G) คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่หรือความเฉื่อยของวัตถุซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างมวล (m) และความเร็ว (v) โมเมนตัมเป็นปริมาณเวกเตอร์

$$G = mv \quad (2.1)$$

- แรง

$$F = \frac{d(mv)}{dt} \quad (2.2)$$

- ความเร็ว คืออัตราการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่อหน่วยเวลา เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น m/s

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่ง คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อหน่วยเวลา เป็นปริมาณเวกเตอร์มีหน่วยเป็น  $m/s^2$

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (2.4)$$

งาน พลังงาน กำลังงาน และประสิทธิภาพ

- งาน หมายถึง ผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างแรงและการกระจัดที่มีทิศไปในทางเดียวกัน มีหน่วยเป็น Joules, J

$$U = Fs \quad (2.5)$$

- พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการทำงานในหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น J แบ่งเป็น

พลังงานศักย์  $E_p$

$$E_p = mgh \quad (2.6)$$

พลังงานจลน์

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (2.7)$$

- กำลัง คือพลังงานหรืองานที่ได้ต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น W

$$P = \frac{U}{t} \quad (2.8)$$

- ประสิทธิภาพ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังที่ได้กับกำลังที่ให้กับเครื่องจักร ไม่มีหน่วย

$$E_{ff} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

### 2.4.3.1 สลักเกลียว (Fasteners)

ระบบเกลียวโดยทั่วไปประกอบด้วย

Pitch Diameter พิทช์ หมายถึงระยะห่างระหว่างเกลียวที่อยู่ติดกัน

Major Diameter เส้นผ่าศูนย์กลางหลักคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของส่วนที่เป็นเกลียว

Minor Diameter เส้นผ่านศูนย์กลางรองคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของส่วนที่เป็นเกลียว

ฐานเกลียว (Root) คือ ส่วนที่ต่ำสุดของเกลียวเมื่อเกลียวนั้นอยู่บนผิวทรงกระบอก

ยอดเกลียว (Crest) คือ ส่วนที่เป็นขอบสูงสุดของเกลียว

มุมของเกลียว (Thread Angle) มุมระหว่างผิวของเกลียวที่อยู่ติดกัน

เกลียวนอก (External Thread) หรือบางครั้งเรียกว่า เกลียวตัวผู้ จะมีลักษณะเป็นเกลียวที่อยู่บนผิวนอกของทรงกระบอก

เกลียวใน (Internal Thread) หรือบางครั้งเรียกว่า เกลียวตัวเมีย จะมีลักษณะเป็นเกลียวที่อยู่บนผิวภายในของรู

### 2.4.3.2 เพลา และการส่งกำลังแบบหมุน (Shafts and Rotating Transmission)

เพลา (Shaft) เป็นอุปกรณ์ส่งกำลังแบบเคลื่อนที่เชิงมุม คือมีการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุน แกน (Axle) คือชิ้นส่วนที่ไม่หมุน และไม่รับแรงบิดใช้สำหรับรองรับชิ้นส่วนที่หมุน การใช้งานเพลาจะมีส่วนอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ล้อสายพาน (Pulleys) เฟือง (Gears) เป็นต้น เพลาอาจต้องรองรับแรงต่างๆ ได้แก่ แรงดัด แรงดึง แรงอัด และแรงบิด ดังนั้นในการออกแบบจะต้องพิจารณา ความต้านทานแรงสถิต (Static Strength) และความต้านทานการล้าตัว (Fatigue Strength) และต้องพิจารณาระยะโก่ง (Deflection) ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

การจัดวางส่วนประกอบบนเพลาในแนวแกน

1. เพลาจะต้องมีแบริงในการรับแรง

2. การประกอบชิ้นส่วนอื่นที่ปลายเพลา ควรประกอบให้อยู่ใกล้แบริง เพื่อลดระยะโก่งของ

เพลาในส่วนนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สำหรับชิ้นส่วนที่ไม่ได้อยู่ปลายเพลาก็ควรประกอบใกล้แบริงเช่นกัน เพื่อลดโมเมนต์ดัดและระยะโก่งของเพลานั่นเอง

4. ไม่ควรออกแบบเพลานำให้ยาวมาก เพลายาวจะทำให้มีโมเมนต์ดัดและระยะโก่งของเพลามาก

5. การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ บนเพลานี้ ต้องคำนึงถึงการเว้นช่องว่าง เพื่อการหล่อลื่น หรือเพื่อการถอดประกอบด้วย

6. การควบคุมตำแหน่งส่วนต่างๆ บนเพลานี้ ทำโดยใช้ บ่าเพลานั่นเอง (Shoulder), Nut & Washer, และอาจใช้ Set Screw กรณีที่ภาระน้อยๆ

### การประกอบเพลานั่นเอง

1. การทำบ่าเพลานั่นเอง (Shoulder) การทำให้เพลามีลักษณะเป็นขั้น เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เท่ากัน เพื่อให้สะดวกต่อการประกอบ ถ้าไม่ทำบ่าจะประกอบลำบาก ไม่สามารถทุบอัดให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการพอดีได้

2. Sleeves/ Spacer

3. Nut-Washer & Setscrew

4. Retaining ring

### รับโหลดในแนวแกน

หากมีภาระในแนวแกน เช่น จาก Helical gear หรือ Bevel gear แรงจะถูกถ่ายไปสู่เพลานั่นเอง ภาระในแนวแกนเพลานี้สามารถรับได้โดยการออกแบบให้มีบ่าเพลานั่นเอง หรือมีโครงสร้างอื่นที่ช่วยรับภาระ การใช้ Retaining ring ใช้ในกรณีที่มีภาระในแนวแกนมีค่าน้อยเท่านั้น

### แรงบิดของเพลานั่นเองกำลัง

วิธีที่จะส่งแรงบิดระหว่างอุปกรณ์ที่ติดบนเพลากับเพลานี้สามารถทำได้โดยวิธีต่าง ๆ เช่น ใช้ key, splines, setscrews , pin, press or shrink fits ในการ Setscrews หรือการ press or shrink fits ใช้ในกรณีแรงบิดน้อย ๆ เท่านั้น ชิ้นส่วนส่งแรงบิด key, pin มักถูกออกแบบให้เสียหายก่อน เมื่อแรงบิดมีค่ามากกว่าที่ออกแบบไว้ ทำให้ชิ้นส่วนอื่น ๆ ไม่เกิดความเสียหายวัสดุที่ใช้ทำเพลานั่นเอง

เพลานั่นเองส่วนใหญ่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ-ปานกลาง หากมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่มากมักผลิตจากกรรมวิธี Cold Drawn เพลานั่นเองทั่วไปที่มีรูปทรงไม่ซับซ้อนอาจจะผลิตโดยการกลึง เพลานั่นเองที่มีรูปทรง

พิเศษเช่น เผลาข้อเหวี่ยงอาจจะผลิตโดยการหล่อ หรือ Forging เผลาที่ใช้งานหนักมักมีการชุบแข็ง และเจียรนัยผิวเรียบ

#### 2.4.3.3 ข้อต่อเพลา (Couplings)

การที่จะต่อเพลาเข้าด้วยกันนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ข้อต่อเพลา ชนิดทั่วไปของข้อต่อเพลาจำแนกได้ดังนี้

Extension Couplings

Plain Flank Couplings

Jaw Couplings (/with insert)

Chain Couplings

Disc Couplings

Gear Couplings

Universal Joints (Hooke's Coupling)

Elastometric Couplings

#### 2.4.3.4 แบริ่งสัมผัสแบบกลิ้งหรือตลับลูกปืน (Rolling – Contact Bearings)

ตลับลูกปืนหรือแบริ่งสัมผัสแบบกลิ้ง (rolling - Contact bearing) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้ในการช่วยลดแรงเสียดทาน ระหว่างชิ้นงาน โดยโหลดจะถูกส่งไปส่วนต่าง ๆ ผ่านการสัมผัสของเม็ดลูกกลิ้งที่บรรจุอยู่ภายใน แรงเสียดทานเริ่มต้น ในแบริ่งสัมผัสแบบกลิ้งจะมีค่ามากเป็น 2 เท่าของแรงเสียดทานขณะทำงาน ดังนั้น การรับโหลด ความเร็วในการหมุน และความหนืดของสารหล่อลื่น ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของแบริ่งสัมผัสแบบกลิ้งทั้งสิ้น

#### ประเภทของแบริ่ง (Bearing Types)

แบริ่งเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ได้รับการผลิตขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รับโหลดในแนวรัศมี โหลดในแนวแกน หรือโหลดทั้ง 2 ประเภทโดยตรง ส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนของแบริ่งคือ วงแหวนนอก (outer ring) วงแหวนใน (inner ring) ลูกปืนหรือเม็ดลูกกลิ้ง (ball or rolling element) และตัวยึดลูกกลิ้ง (retainer) ซึ่ง ทำหน้าที่ยึดเม็ดลูกกลิ้งและคั่นระหว่าง เม็ดลูกกลิ้งให้มีระยะห่างคงที่ เมื่อวงแหวนเกิดการหมุน เม็ดลูกกลิ้งจะกลิ้งอยู่ ในรางของวงแหวน และเนื่องจากพื้นที่ ผิวที่ลูกกลิ้งสัมผัสกับรางของวงแหวนจะ น้อยมาก จึงทำให้แรงเสียดทานระหว่างรางและแหวนลดลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเลือกใช้แบริ่งประเภทต่าง ๆ

อธิบายเกี่ยวกับเลือกใช้แบริ่งประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตแต่ละแห่งกำหนด ส่วนใหญ่จะจัดให้มีคู่มือการเลือกใช้ให้ตรงกับความต้องการของวิศวกร

### มาตรฐานของแบริ่งสัมผัสเม็ดกลมประเภทต่าง ๆ

แบริ่งเม็ดกลมร่องลึก (deep groove ball bearing) ซึ่งจะรับโหลดในแนวรัศมีเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งรับโหลดในแนวแกนได้บ้าง ลูกกลิ้งเม็ดกลมจะถูกใส่เข้าไปในร่องโดยการหมุนวงแหวนในให้เยื้องศูนย์ และเม็ดลูกกลิ้งจะถูกแยกออกจากกันโดยตัวยึดลูกกลิ้ง

แบริ่งแบบเม็ดกลมร่องลึกมีรอยบากเติมเม็ดลูกกลิ้ง (filling notch) แบริ่งชนิดนี้สามารถเติมเม็ดลูกกลิ้งเพิ่มเข้าไปในตลับได้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับโหลดในแนวรัศมี แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการรับโหลดในแนวแกนจะลดลง เนื่องจากเม็ดกลมจะกระทบกับรอยบาก

แบริ่งแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม (angular contact bearing) ที่จัดให้มีความสามารถในการรับโหลดในแนวแกนได้สูง

แบริ่งเหล่านี้อาจจะมีฝาครอบด้านเดียวหรือปิดผนึกทั้งสองด้านเพื่อป้องกันฝุ่น ในกรณีที่มีการปิดครอบทั้งสองด้าน การหล่อลื่นจะทำมาจากบริษัทผู้ผลิต ถึงแม้ว่าแบริ่งที่ปิดผนึกทั้งสองด้านนี้ ควรจะมีการหล่อลื่นที่เพียงพอตลอดอายุการใช้งานก็ตามแต่ในบางครั้งก็จัดให้มีวิธีในการเติมสารหล่อลื่นเข้าไปภายในแบริ่งได้

แบริ่งเม็ดกลมปรับแนวแกนได้เอง (external self-alignment bearing) แต่แบริ่งที่มีเม็ดกลมแถวเดียวจะทนต่อการเยื้องศูนย์ของเพลานี้เนื่องจากการหลุดตัวได้น้อย ซึ่งมีการผลิตแบริ่งเม็ดกลมแบบแถวคู่ (double row) ดังรูป .. และ .. มาใช้สำหรับรับโหลดสูงทั้งในแนวรัศมี และโหลดแนวแกน

แบริ่งเม็ดกลมกันรุน (thrust bearing) มีความสามารถในการรับโหลดแรงผลักในแนวแกนได้เป็นอย่างดี มีหลายขนาดหลายประเภท เช่น แบบรางราบ แบบรางร่องเดี่ยว แบบรางร่องคู่ และปรับแนวแกนได้เอง (self – aligning thrust bearing) ดังรูป ..

### มาตรฐานของแบริ่งสัมผัสเม็ดทรงกระบอกประเภทต่าง ๆ

แบริ่งเม็ดทรงกระบอกกลมกันรุน (spherical – roller thrust bearing) เหมาะกับงานที่มีโหลดในแนวแกนมาก ปรับแนวแกนได้เอง เนื่องจากรางวงแหวนในและรางวงแหวนนอกเป็นทรงกระบอก ข้อดีคือ พื้นที่สัมผัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่มีความเร็วรอบ

แบริ่งแบบเม็ดทรงกระบอกเรียวกันรุน (tapered roller thrust bearing) เพิ่มความสามารถในการรับโหลดในแนวรัศมีมากขึ้นกว่าแบริ่งแบบเม็ดทรงกระบอกกลมกันรุน

แบริ่งแบบเม็ดทรงกระบอกเข็ม (needle roller bearing) แบริ่งแบบนี้จะมีอัตราส่วนความยาวของเม็ดทรงกระบอกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางสูงจึงทำให้อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางรูเพลาค่อนข้างต่ำ จึงมีประโยชน์มากในกรณีที่มีพื้นที่ในแนวรัศมีจำกัด แบริ่งแบบนี้สามารถรับโหลดในแนวรัศมีได้ดีเมื่อใช้ตัวยึดเม็ดทรงกระบอกแยกเม็ดทรงกระบอกเข็มออกจากกัน

แบริ่งแบบเม็ดทรงกระบอกเรียว (tapered roller bearing) ที่รวมเอาข้อดีของแบริ่งแบบเม็ดกลมและแบริ่งแบบเม็ดทรงกระบอกเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถรับโหลดในแนวรัศมีและแนวแกนได้มาก

### การหล่อลื่น (Lubrication)

เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแบริ่ง จำเป็นต้องพิจารณาการหล่อลื่นประกอบการออกแบบเพื่อเลือกใช้แบริ่งด้วย วัตถุประสงค์ในการใช้สารหล่อลื่นสรุปได้ดังนี้

1. จัดให้มีแผ่นฟิล์มของชั้นสารหล่อลื่นอยู่ระหว่างพื้นผิวสัมผัสแบบกลิ้งหรือลื่นไถล
2. ช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน
3. เพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่พื้นผิวของแบริ่ง
4. เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกเข้าไปในแบริ่งได้

สารหล่อลื่นอาจเป็นน้ำมันหล่อลื่นหรือจารบีก็ได้ เลือกดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติจารบีและน้ำมันหล่อลื่น

จารบี	น้ำมันหล่อลื่น
1. อุณหภูมิการใช้งานไม่เกิน 200°F	1. อุณหภูมิในการใช้งานสูง
2. ความเร็วรอบในการหมุนต่ำ	2. ความเร็วรอบในการหมุนสูง
3. มีการป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกผ่านเข้าไปในแบริ่งวิธีอื่นประกอบ	3. ต้องมีกรรมวิธีในการผนึกน้ำมัน
4. ต้องการให้มีการปิดแบริ่งอย่างง่าย	4. แบริ่งที่เลือกใช้ไม่เหมาะสมที่จะใช้จารบีเป็นสารหล่อลื่น
5. ต้องการใช้งานเป็นระยะเวลานานโดยไม่ต้องดูแลเอาใจใส่มากนัก	5. การใส่สารหล่อลื่นทำมาจากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งใช้แบริ่งสำหรับส่วนต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3.5 อุปกรณ์ส่งกำลังแบบอ่อน (Flexible Mechanical Transmission Components)

#### สายพาน (Belts)

การแบ่งประเภทสายพานจะพิจารณาจากภาคตัดขวาง โดยมี 4 ประเภทคือ

1. สายพานแบน (Flat Belt) ทำมาจากยูรีเทน (Urethane) หรือทำมาจากยางที่มีเส้นใยสอดถักหรือไนลอนอยู่ภายในเพื่อทำให้เกิดโหดแรงดึง ที่ผิวสัมผัสของสายพานจะเคลือบด้วยสารที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน อาจจะมีเพียงด้านเดียวหรือทั้ง 2 ด้าน ข้อดีของสายพานแบนคือ เสียงค่อนข้างเงียบ มีประสิทธิภาพความเร็วสูง ดูดซับการกระแทกและการสั่นสะเทือนได้ดี สามารถส่งกำลังได้สูงสำหรับการขับพูลเลย์ที่มีระยะห่างระหว่างกันมาก ในการใช้งานมักจะนิยมใช้สายพานแบนขนาดเล็กหลายเส้นวางตัวเรียงกันมากกว่าใช้สายพานแบนขนาดใหญ่เพียงเส้นเดียว

2. สายพานกลม (Round Belt) จะใช้กับพูลเลย์ที่มีร่อง ที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม สายพานกลมทำจากพลาสติกโพลียูรีเทน (Polyurethane) จะต้านทานจาระบี น้ำมันเบนซิน น้ำมัน และน้ำ สายพานกลมสามารถปรับตั้งทิศทางการหมุนได้หลายทิศทางตามความต้องการของผู้ใช้และการส่งกำลังด้วยสายพานกลมจะให้ความยืดหยุ่นสูงมาก ขณะการทำงานของสายพานจะไม่เกิดเสียงดัง

3. สายพานรูปตัววี (V Belt) ทำมาจากสังกะสี ซึ่งมักจะเป็นผ้าฝ้าย โยสังเคราะห์ หรือไนลอน แล้วนำไปชุบยาง สำหรับสายพานรูปตัววีมักจะถูกใช้ในการส่งกำลังที่มีระยะห่างระหว่างพูลเลย์ไม่มาก และพูลเลย์จะมีลักษณะเป็นร่องเหมือนลูกกรอก ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการส่งกำลังจะไม่เท่ากับสายพานแบน แต่สามารถใช้สายพานรูปตัววีหลายเส้นในการส่งกำลังไปยังพูลเลย์ตัวเดียวกันได้

4. Timing Belt ทำมาจากเนโยสังเคราะห์หรือโพลียูรีเทน ชุบด้วยยาง โดยจะมีฟันลักษณะคล้ายฟันเฟืองเพื่อสวมให้พอดีกับร่องที่ตัดไว้บนล้อฟันเฟือง ด้วยเหตุนี้สายพานไทม์มิ่งจึงไม่เกิดการลื่นไถลและไม่ยืดตัวจึงสามารถส่งกำลังด้วยอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมคงที่ ซึ่งทำให้มีข้อดีมากกว่าสายพานประเภทอื่น ข้อดีอีกอย่างหนึ่งก็คือ ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงเบื้องต้นในสายพานไทม์มิ่ง พูลเลย์ตัวขับและตัวตามจึงต้องมีระยะห่างที่แน่นอน

**พูลเลย์ (Pulley)** พูลเลย์ หรือ มู่เล่ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งในระบบส่งกำลัง ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนสายพานและส่งกำลังจากเพลามอเตอร์ไปสู่อุปกรณ์ตัวอื่นๆ สูตรคำนวณขนาดมู่เล่ & รอบ  $PR \times RP = PM \times RM$

เมื่อ  $RP =$  ความเร็วรอบของปั๊ม  
 $RM =$  ความเร็วรอบของต้นกำลัง

PP = ขนาดมู่เสี้ยวของปัม

PM = ขนาดมู่เสี้ยวของต้นกำล้ง

#### 2.4.3.6 ลวดสลิง และอุปกรณ์ยกของในการต่อลวดสลิงหรือทำห้วง



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างอุปกรณ์ในการต่อลวดสลิงสำหรับยกของ

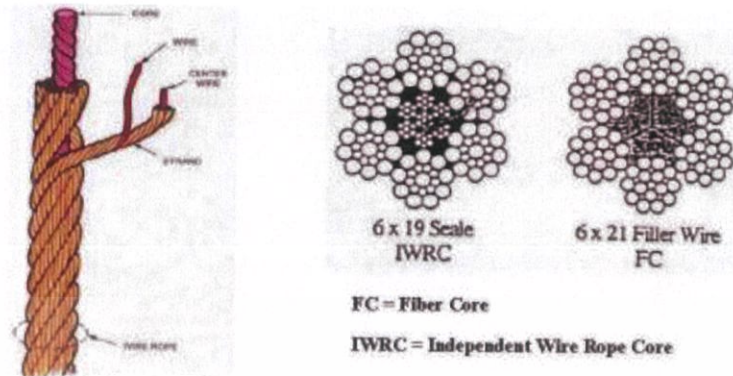
ลวดสลิง Wire Rope Sling ลวดสลิงมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน อันได้แก่ ลวดสลิง แบบเคสเลื่อนที่ คือลวดสลิงแบบทั่วไป โดยถูกวางบนรอกหกด หรือลูกกลิ้ง ลวดสลิงแบบนี้จะได้รับแรงเค้นโดยการบิดเป็นหลัก แรงเค้นรองคือการดึง ต้องมีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 6 ลวดสลิงยึดโยง สำหรับใช้งานอยู่กับที่ ต้องมีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 3.5 ลวดสลิงที่นำมาผูกมัดวัสดุ ต้องมีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 5

**โครงสร้างของเชือกลวดสลิง**

ลวดเหล็กกล้า (Wire) จะเป็นเส้นลวดขนาดเล็กสามารถทนแรงดึงได้สูง มีสภาพตัดโค้งงอได้ เป็นส่วนที่ย่อยที่สุด

ลวดตีเกลียว (Stand) กลุ่มเกลียวที่เกิดจากการรวมตัวของเส้นลวดหลายๆ เส้น มาทำเกลียวรวมกัน

แกนลวดสลิง (Core) มีอยู่ด้วยกันสองชนิด คือชนิดที่เป็นไฟเบอร์ (Fibre Core) และชนิดที่เป็นลวดเส้นใหญ่ (Wire Core) อยู่ตรงใจกลางของลวดสลิง



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของลวดสลิง

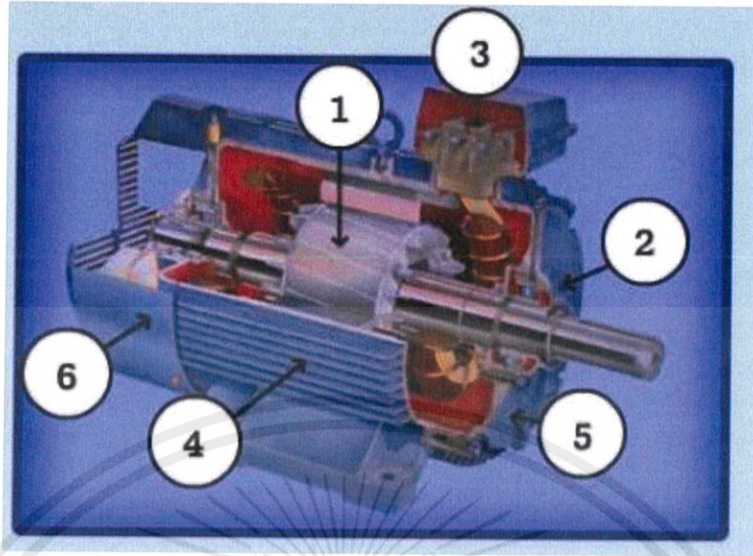
#### 2.4.5 มอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มอเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปต้องการความเร็ว รอบหรือกำลังงานที่ต่างกััน มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามการใช้ของกระแสไฟฟ้า คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีคุณสมบัติดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor ) หรือเรียกว่า ดี.ซี มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่า ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่า ชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่า คอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์

จากรูปที่ แสดงถึงส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือ ขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาน้ำยาฉนวน สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

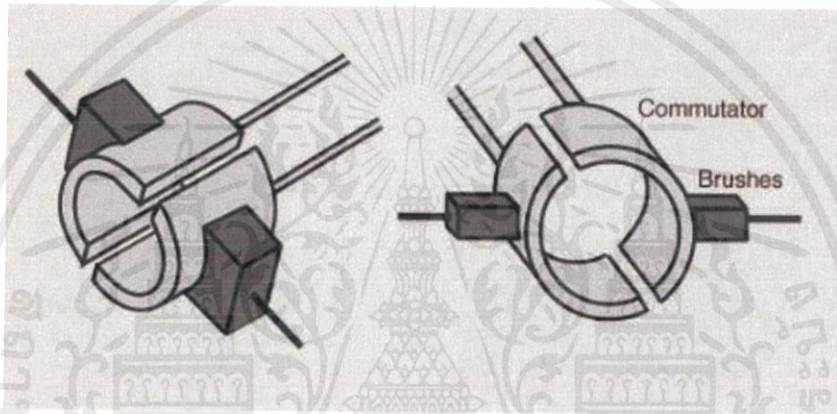
2. ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือ แกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่จะทำให้ความเข้าของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

3. โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือ ส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4. อาร์เมเจอร์ (Armature) คือ ส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเจาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิมไฟเบอร์อัดแน่นขีดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลัดกันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

5. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือ ส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่แท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) อาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมอร์

6. แปรงถ่าน (Brush) คือ ตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 2.14 ขั้วรับแรงดันไฟตรงของคอมมิวเตเตอร์ที่รับมาจากแปรงถ่าน

การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมาทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์ เปลี่ยนไปอยู่อีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆ อีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์คือมอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน

## บทที่ 3

# การวิเคราะห์เลือกอุปกรณ์เพื่อการออกแบบ การเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงาน

ในบทนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกนั้นจะกล่าวถึงการพิจารณาเลือกอุปกรณ์โดยคำนึงถึงเงื่อนไขและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ เพื่อมาคัดเลือกอุปกรณ์ เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะการทำงานที่ต้องการ และทำการออกแบบอุปกรณ์สำหรับอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ ส่วนที่สองนั้นจะกล่าวถึงหลักการของโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ

### 3.1 การเลือกอุปกรณ์เพื่อมาทำการออกแบบ

เนื่องจากในปัจจุบันนั้นอุปกรณ์ มีให้เลือกใช้หลายประเภทด้วยกัน อีกทั้งบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ยังได้กำหนดมาตรฐานเฉพาะเพื่อใช้ในการคัดเลือกอุปกรณ์มาใช้ในผลิตภัณฑ์ของบริษัทนั้นๆ ทำให้มีมาตรฐานมากมายให้เลือกใช้แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงทำให้การวิเคราะห์เลือกอุปกรณ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกหนึ่งขั้นตอนสำหรับการออกแบบและส่งผลต่อการออกแบบเพราะว่าในการเลือกอุปกรณ์นั้นเนื่องจากจะได้ขนาดของชิ้นงานได้ตามต้องการแล้ว ยังได้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติตามเงื่อนไขของการออกแบบได้ และยังได้ออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการออกแบบอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ

โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและเลือกอุปกรณ์ คือ

1. ต้องรองรับน้ำหนักได้อย่างน้อย 5 กิโลกรัม
2. การทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟควรใช้เวลาไม่มากกว่า 30 วินาทีในการนำตัวโคมลงมาจากยอดเสา

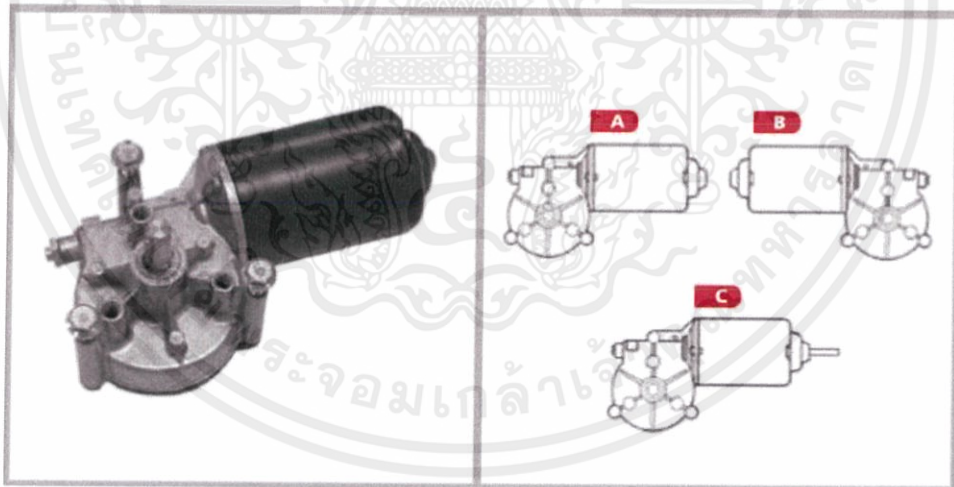
#### 3.1.1 การเลือกมอเตอร์

มอเตอร์เลือกใช้เป็น Worm Gear Motor หรือมอเตอร์เกียร์หนอน เพราะว่ามีคุณสมบัติการทำงานที่เฉพาะตัวที่เหมาะสมต่อการออกแบบอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟคือ เมื่อ Worm Gear Motor นั้น ไม่ได้รับคำสั่งในการทำงาน หรือไม่ได้รับไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟนั้น เกียร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ จะทำการล๊อคตัวเอง ด้วยคุณสมบัติข้อนี้ของ Worm Gear Motor ทำให้ลดปัญหาในด้านการออกแบบกลไกล๊อคของแบบจำลองได้ และ Worm Gear Motor จะมีขนาดเล็กกว่ามอเตอร์ทั่วไปเมื่อเทียบความเร็วรอบ (rpm) และกำลัง (w) ที่มอเตอร์สามารถทำได้เท่ากัน

โดยคุณสมบัติของมอเตอร์ที่เลือกใช้นั้นได้เลือกงานได้เงื่อนไขทางด้านการใช้งานและความเหมาะสมในการทำการออกแบบ แสดงในตารางที่ 3.1 และรูปของ Worm Gear Motor แสดงในรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

Type	Set	Type of Motor	Geared
Main Body Shape	Round	Flange Size A(mm)	-
Rated Output(W)	60	Voltage(V)	12
Gearhead Type	Parallel Shafts	Rotational Speed(rpm)	100
Rated Torque(N·m)	2.9	Rated Current(A)	4.8
Axial direction	Standard	Mounting Type	Flange Type
RoHS	6	-	-



รูปที่ 3.1 Worm Gear Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การเลือกสายพานส่งกำลัง

ในส่วนของการเลือกสายพานเลือกใช้สายพานแบบโทมมิ่ง เนื่องจากสายพานแบบโทมมิ่งนั้นมีพื้นที่ตลอดความยาวของสายพาน ทำให้การหมุนของเพลาสัมพันธ์กันอย่างแม่นยำ และสายพานชนิดนี้มักถูกนำมาใช้ในด้านการทำงานที่ต้องการความแม่นยำของระยะเวลาในการทำงาน

เนื่องจากผู้ผลิตสายพานได้กำหนดมาตรฐานมาใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตนั้นๆ ทำให้มีมาตรฐานในการเลือกสายพานให้เลือกใช้จำนวนมาก ทั้งนี้ผู้จัดทำจึงได้ยกมาตรฐานของ บริษัท MISUMI มาเพื่อเป็นมาตรฐานในการออกแบบ โดยการพิจารณาเลือกสายพานมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

#### 1. คำนวณกำลังที่ใช้ในการออกแบบสายพาน

ทำการคำนวณหากำลังที่ใช้ออกแบบสายพานโดยใช้สมการที่ (3.1) และ (3.2) โดยกำลังที่ใช้ออกแบบสายพานจะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างกำลังที่ต้องการส่ง ( $P_t$ ) กับสัมประสิทธิ์การรับโหลดเกิน ( $K_s$ )

$$P_d = P_t \times K_s \quad (3.1)$$

เมื่อ  $P_d$  = กำลังที่ใช้ในการออกแบบ

$P_t$  = กำลังที่ต้องการส่ง

$K_s$  = สัมประสิทธิ์การรับโหลดเกิน

โดยสัมประสิทธิ์การรับโหลดเกิน  $K_s$  มีค่าเท่ากับผลรวมของสัมประสิทธิ์การปรับค่าโหลด ( $K_o$ ) และสัมประสิทธิ์การปรับค่าสัดส่วนความเร็ว ( $K_r$ ) และสัมประสิทธิ์การปรับค่าล้อยืดสายพาน ( $K_i$ )

$$K_s = K_o + K_r + K_i \quad (3.2)$$

เมื่อ  $K_o$  = สัมประสิทธิ์การปรับค่าโหลด

$K_r$  = สัมประสิทธิ์การปรับค่าสัดส่วนความเร็ว

$K_i$  = สัมประสิทธิ์การปรับค่าล้อยืดสายพาน

โดยทั้งสามค่านี้สามารถหาได้จากตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าโหลด ( $K_o$ ) ตารางสัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับค่าสัดส่วนความเร็ว (Kr) และตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าล้อตึงสายพาน (Ki) ดังรูปที่ 3.2-3.4

Typical Machines Using a Belt	Motor					
	Max. Output not Exceeding 300% of Rated Value			Max. Output Exceeding 300% of Rated Value		
	AC Motor (Standard Motor, Synchronous Motor) DC Motor (Shunt), Engine with 2 or More Cylinders			Special Motor (High torque), Single-Cylinder Engine DC Motor (Series), Operation with Lye Shaft or Clutch		
	Operation Hours			Operation Hours		
Intermittent use 1 Day 3 to 5 hrs	Regular Use 1 Day 8 to 12 hrs	Continuous Use 1 Day 8 to 12 hrs	Intermittent use 1 Day 3 to 5 hrs	Regular Use 1 Day 8 to 12 hrs	Continuous Use 1 Day 8 to 12 hrs	
Exhibit Instrument, Projector, Measuring Instrument, Medical Machine	1.0	1.2	1.4	1.2	1.4	1.6
Cleaner, Sewing Machine, Office Machine, Carpentry Lathe, Belt Sawing Machine	1.2	1.4	1.6	1.4	1.6	1.8
Light Load Belt Conveyor, Packer, Sifter	1.3	1.5	1.7	1.5	1.7	1.9
Liquid Mixer, Drill Press, Lathe, Screw Machine, (Circular Sawing) Machine, Planer, Washing Machine, Paper Manufacturing Machine (Excluding Pulp Manufacturing Machine), Printing Machine	1.4	1.6	1.8	1.6	1.8	2.0
Mixer (Cement and Viscous Matter), Belt Conveyor (Ore, Coal and Sand), Grinder, Shaping Machine, Boring Machine, Milling Machine, Compressor (Centrifugal), Vibration Sifter, Textile Machine (Warper and Winder), Rotary Compressor, Compressor (Reciprocal)	1.5	1.7	1.9	1.7	1.9	2.1
Conveyor (Apron, Pan, Bucket and Elevator), Extraction, Fan, Blower (Centrifugal, Suction and Discharge), Power Generator, Exciter, Hoist, Elevator, Rubber Processor (Calender, Roll and Extruder), Textile Machine (Weaving Machine, Fine Spinning Machine, Twisting Machine and Weft Winding Machine)	1.6	1.8	2.0	1.8	2.0	2.2
Centrifugal Separator, Conveyor (Feed and Screw), Hammer Mill, Paper Manufacturing Machine (Pulpapitor)	1.7	1.9	2.1	1.9	2.1	2.3

รูปที่ 3.2 ตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าโหลด (Ko)

Speed Ratio	Coefficient (Kr)
1.00 to 1.25	0
1.25 to 1.75	0.1
1.75 to 2.50	0.2
2.50 to 3.50	0.3
3.50 or more	0.4

รูปที่ 3.3 ตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าสัดส่วนความเร็ว (Kr)

Position of Idler	Coefficient (Ki)
Outside the loose side of the belt	0
Inside the loose side of the belt	0.1
Outside the tensioned side of the belt	0.1
Inside the tensioned side of the belt	0.2

รูปที่ 3.4 ตารางสัมประสิทธิ์การปรับค่าลูกกลิ้ง (Ki)

แทนค่า  $K_o = 1$ ,  $K_r = 0$  และ  $K_i = 0$  ที่หาได้จากการเทียบในตารางโดยคำนึงถึงลักษณะการออกแบบตารางในรูปที่ 3.2-3.4 ลงในสมการที่ (3.2) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_s = 1$$

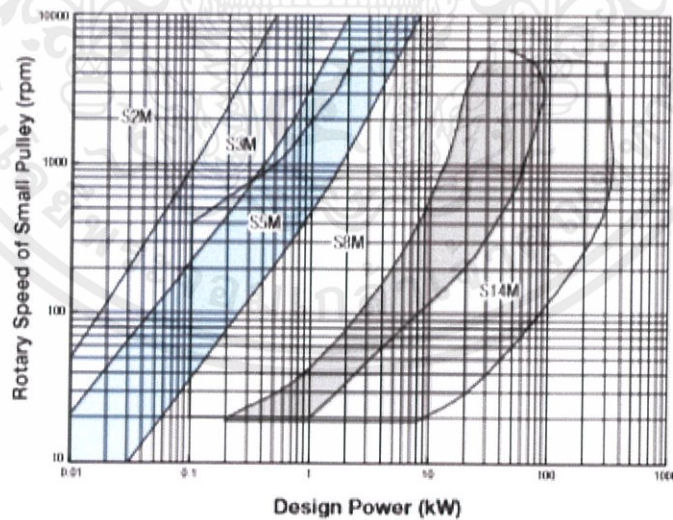
แทนค่าตอบของสมการที่ (3.2)  $K_s = 1$  ลงในสมการที่ (3.1) และกำหนดให้ค่ากำลังที่ต้องการส่ง  $P_t = 60 \text{ w}$  (จากกำลังของมอเตอร์) ลงในสมการที่ (3.1) จะได้

$$P_d = 60W$$

ดังนั้นกำลังที่ใช้ในการออกแบบ ( $P_d$ ) คือ 60 W

## 2. การเลือกชนิดของสายพานมาเป็นต้นแบบ

โดนขั้นตอนนี้จะเทียบกับตารางแนะนำการเลือกชนิดของสายพานโดยใช้วิธีอย่างง่ายคือการเทียบจากรูปที่ 3.5 โดยจะเทียบต้นกำลังการออกแบบและความเร็วรอบของพูลเลย์ขับกำหนดให้ความเร็วรอบของพูลเลย์ขับมีค่าเท่ากับ 100 rpm และต้นกำลังการออกแบบเท่ากับ 0.06 kW (อ้างอิงจากมอเตอร์)



รูปที่ 3.5 ตารางแนะนำการเลือกชนิดของสายพาน

จากการเทียบอย่างง่ายตามตารางแนะนำการเลือกอย่างง่ายดังรูปที่ 3.5 จะได้สายพานไหมมีประเภท S3M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตัดสินใจจำนวนฟันของพูลเลย์เล็กและใหญ่ ความยาวสายพาน และระยะระหว่างแกน

เลือกจำนวนฟันของพูลเลย์ใหญ่และเล็กจากตารางความจุในการส่งอ้างอิงจาก รูปที่ 3.6 ที่เหมาะสมกับสัดส่วนความเร็วที่กำหนดไว้(อย่างไรก็ตามจำนวนฟันของพูลเล็กควรมากกว่าจำนวนฟันต่ำสุดที่แสดงในรูปที่ 3.7

Rotary Speed of Small Pulley (rpm)	No. of Teeth of Small Pulley		Diameter of the Pitch Circle (mm)																																	
	14	15	16	18	20	22	24	25	26	28	30	32	36	40	44	48	50	60	13.37	14.32	15.28	17.19	19.10	21.01	22.92	23.87	24.83	26.74	28.65	30.56	34.38	38.20	42.02	45.84	47.75	57.30
870	53	58	62	73	79	87	95	99	103	110	118	125	140	155	169	182	188	222	53	58	62	73	79	87	95	99	103	110	118	125	140	155	169	182	188	222
1160	67	72	78	92	99	110	119	124	129	139	148	158	176	194	212	229	238	279	67	72	78	92	99	110	119	124	129	139	148	158	176	194	212	229	238	279
1750	92	100	107	128	137	151	165	171	178	192	205	218	243	268	291	315	326	381	92	100	107	128	137	151	165	171	178	192	205	218	243	268	291	315	326	381
3500	154	167	180	215	230	255	277	289	300	322	344	365	407	446	484	521	539	624	154	167	180	215	230	255	277	289	300	322	344	365	407	446	484	521	539	624
50	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	11	11	13	14	15	17	20	25	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	11	11	13	14	15	17	20	25
100	9	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	21	23	25	28	30	31	37	9	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	21	23	25	28	30	31	37
150	12	13	14	17	18	20	22	23	24	26	27	29	33	36	39	43	44	52	12	13	14	17	18	20	22	23	24	26	27	29	33	36	39	43	44	52
200	16	17	18	22	23	26	28	29	30	33	35	37	42	46	50	54	56	67	16	17	18	22	23	26	28	29	30	33	35	37	42	46	50	54	56	67
250	19	21	22	26	28	31	34	35	37	39	42	45	50	55	61	66	68	80	19	21	22	26	28	31	34	35	37	39	42	45	50	55	61	66	68	80
300	22	24	25	31	33	36	39	41	43	46	49	52	58	65	71	76	79	94	22	24	25	31	33	36	39	41	43	46	49	52	58	65	71	76	79	94
350	25	27	29	35	37	41	45	47	49	52	56	59	66	73	80	87	90	106	25	27	29	35	37	41	45	47	49	52	56	59	66	73	80	87	90	106
400	28	31	33	39	42	46	50	52	54	58	62	66	74	82	90	97	101	119	28	31	33	39	42	46	50	52	54	58	62	66	74	82	90	97	101	119
450	31	34	36	43	46	51	55	58	60	64	69	73	82	90	99	107	111	131	31	34	36	43	46	51	55	58	60	64	69	73	82	90	99	107	111	131
500	34	37	39	47	50	55	60	63	65	70	75	80	89	99	108	117	121	143	34	37	39	47	50	55	60	63	65	70	75	80	89	99	108	117	121	143
550	37	40	43	51	54	60	65	68	71	76	81	86	97	107	116	126	131	154	37	40	43	51	54	60	65	68	71	76	81	86	97	107	116	126	131	154
600	39	43	46	54	58	64	70	73	76	82	87	93	104	114	125	136	140	165	39	43	46	54	58	64	70	73	76	82	87	93	104	114	125	136	140	165
650	42	46	49	58	62	69	75	78	81	87	93	99	111	122	133	144	150	176	42	46	49	58	62	69	75	78	81	87	93	99	111	122	133	144	150	176
700	45	48	52	62	66	73	79	83	86	92	99	105	118	130	142	153	159	187	45	48	52	62	66	73	79	83	86	92	99	105	118	130	142	153	159	187
750	47	51	55	65	70	77	84	87	91	98	105	111	124	137	150	162	168	198	47	51	55	65	70	77	84	87	91	98	105	111	124	137	150	162	168	198
800	50	54	58	69	73	81	89	92	96	103	110	117	131	145	158	171	177	208	50	54	58	69	73	81	89	92	96	103	110	117	131	145	158	171	177	208
850	52	57	61	72	77	86	93	97	101	108	116	123	138	152	166	179	186	218	52	57	61	72	77	86	93	97	101	108	116	123	138	152	166	179	186	218
900	55	59	64	76	81	90	97	101	105	113	121	129	144	159	173	187	194	228	55	59	64	76	81	90	97	101	105	113	121	129	144	159	173	187	194	228
950	57	62	66	79	84	94	102	106	110	118	127	135	150	166	181	196	203	238	57	62	66	79	84	94	102	106	110	118	127	135	150	166	181	196	203	238
1000	60	64	69	82	88	97	106	110	115	123	132	140	157	173	188	204	211	246	60	64	69	82	88	97	106	110	115	123	132	140	157	173	188	204	211	246
1100	64	69	75	89	95	105	114	119	124	133	142	151	169	186	203	220	228	267	64	69	75	89	95	105	114	119	124	133	142	151	169	186	203	220	228	267
1200	69	74	80	95	102	113	122	128	133	143	152	162	181	200	218	235	244	286	69	74	80	95	102	113	122	128	133	143	152	162	181	200	218	235	244	286
1300	73	79	85	101	108	120	130	136	141	152	162	172	193	213	232	250	260	304	73	79	85	101	108	120	130	136	141	152	162	172	193	213	232	250	260	304
1400	78	84	90	107	115	127	138	144	150	161	172	183	204	225	245	265	275	322	78	84	90	107	115	127	138	144	150	161	172	183	204	225	245	265	275	322
1500	82	89	95	113	121	134	146	152	158	170	182	193	216	238	259	280	290	340	82	89	95	113	121	134	146	152	158	170	182	193	216	238	259	280	290	340
1600	86	93	100	119	127	141	154	160	166	179	191	203	227	250	272	294	305	357	86	93	100	119	127	141	154	160	166	179	191	203	227	250	272	294	305	357
1700	90	98	105	125	134	148	161	168	174	187	200	213	238	262	285	308	319	373	90	98	105	125	134	148	161	168	174	187	200	213	238	262	285	308	319	373
1800	94	102	110	130	140	155	168	175	182	196	209	222	248	273	298	322	333	390	94	102	110	130	140	155	168	175	182	196	209	222	248	273	298	322	333	390
1900	98	106	114	136	146	161	175	183	190	204	218	232	259	285	310	335	347	406	98	106	114	136	146	161	175	183	190	204	218	232	259	285	310	335	347	406
2000	102	110	119	141	151	166	182	190	198	212	227	241	269	296	322	348	361	421	102	110	119	141	151	166	182	190	198	212	227	241	269	296	322	348	361	421
2200	110	119	128	152	163	180	196	204	212	228	244	259	289	318	346	374	387	452	110	119	128	152	163	180	196	204	212	228	244	259	289	318	346	374	387	452
2400	117	127	136	162	174	193	210	218	227	244	261	277	309	340	369	398	413	481	117	127	136	162	174	193	210	218	227	244	261	277	309	340	369	398	413	481
2600	124	135	145	173	185	205	223	232	241	259	277	294	328	360	392	422	437	509	124	135	145	173	185	205	223	232	241	259	277	294	328	360	392	422	437	509
2800	131	142	153	182	195	216	235	245	255	274	292	311	346	380	413	446	461	536	131	142	153	182	195	216	235	245	255	274	292	311	346	380	413	446	461	536
3000	138	150	161	192	205	228	248	258	268	288	308	327	364	400	435	468	484	562	138	150	161	192	205	228	248	258	268	288	308	327	364	400	435	468	484	562
3200	145	157	169	201	216	239	260	270	281	302	322	342	381	419	455	490	507	588	145	157	169	201	216	239	260	270	281	302	322	342	381	419	455	490	507	588
3400	151	164	177	210	225	250	272	283	294	316	337	358	398	437	475	511	528	612	151	164	177	210	225	250	272	283	294	316	337	358	398	437	475	511	528	612
3600	157	171	184	219																																

ต่อมาทำการหาสัดส่วนความเร็วหรืออัตราทดจากสมการที่ (3.3)

$$\text{สัดส่วนของความเร็ว} = \frac{\text{จำนวนฟันของพูลเลย์ใหญ่}}{\text{จำนวนฟันของพูลเลย์เล็ก}} \quad (3.3)$$

โดยจำนวนฟันของพูลเลย์ใหญ่และพูลเลย์เล็กสามารถพิจารณาเลือกได้ตามความเหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการให้อยู่ในเงื่อนไขของรูปที่ 3.6 โดยเราเลือกใช้จำนวนฟันของพูลเลย์ใหญ่และพูลเลย์เล็กเท่ากับ 36 ซี่และ 28 ซี่ตามลำดับ และทำการแทนค่าทั้งสองลงในสมการที่ (3.3) จะได้

$$\text{สัดส่วนความเร็วมีค่าเท่ากับ} = 1.2857$$

โดยอัตราทดจะมีผลต่อความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ rpm ระหว่างพูลเลย์ใหญ่และพูลเลย์เล็ก

หาค่าประมาณความยาวรอบสายพาน ( $Lp'$ ) ในรูปของระยะห่างระหว่างเพลลาชั่วคราว ( $C'$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางพูลเลย์ใหญ่ ( $Dp$ ) และเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์เล็ก ( $dp$ ) จากสมการที่ (3.4) โดยเมื่อได้ค่าประมาณความยาวรอบสายพาน ( $Lp'$ ) มาแล้วต้องนำค่าที่ได้นั้นไปเทียบกับตารางที่ 3.2 ตารางแสดงความยาวโดยรอบของสายพานส่งกำลังเพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงที่สุดเป็นค่าความยาวสายพานโดยรอบ ( $Lp$ )

$$Lp' = 2C' + \frac{\pi(Dp + dp)}{2} + \frac{(Dp - dp)^2}{4C'} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $C'$  ระยะห่างระหว่างเพลลาชั่วคราว

$Dp$  เส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์ใหญ่ (mm)

$dp$  เส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์เล็ก (mm)

$Lp'$  ค่าประมาณความยาวรอบสายพาน (mm)

ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์เล็ก ( $dp$ ) และเส้นผ่าศูนย์กลางพูลเลย์ใหญ่ ( $Dp$ ) สามารถทราบได้จากตารางความจุในการส่งอ้างอิงในรูปที่ 3.6 คือ 26.74 และ 34.38 ตามลำดับและสามารถกำหนดค่าระยะห่างระหว่างเพลลาชั่วคราว  $C'$  เท่ากับ 100 แทนค่าที่ได้ลงในสมการที่ (3.4) จะได้

$$Lp' = 305.3461 \text{ mm}$$

หาค่าความยาวของสายพานโดยรอบ  $Lp$  ที่ใกล้เคียงกับความยาวสายพานโดยประมาณ  $Lp'$  โดยเทียบจากตารางที่ 3.2 จะได้ความยาวรอบสายพาน  $Lp$  มีค่าเท่ากับ 300 mm

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงความยาวโดยรอบของสายพานส่งกำลัง

Part Number			Number of Teeth	Belt Circumference Length (mm)	Compliance with Standard					
Type	Belt Number	Belt Nominal Width			HTBN			HTUN		
					60	100	150	60	100	150
HTBN (Rubber)	120 S3M	60 (6mm)	40	120	●	●	●	-	-	-
	123 S3M		41	123	●	●	-	-	-	
	129 S3M		43	129	●	●	-	-	-	
HTUN (Polyurethane)	141 S3M	100 (10mm)	47	141	●	●	-	-	-	-
	144 S3M		48	144	●	●	-	●	●	-
	150 S3M		50	150	●	●	●	-	-	-
	162 S3M	150 (15mm)	54	162	●	●	●	●	●	●
	201 S3M		67	201	●	●	●	●	●	●
	207 S3M		69	207	●	●	●	-	-	-
	264 S3M		88	264	●	●	●	●	●	●
	273 S3M		91	273	●	●	●	-	-	-
	276 S3M		92	276	●	●	●	●	●	●
	279 S3M	93	279	●	●	●	-	-	-	
	285 S3M	95	285	●	●	●	-	-	-	
	288 S3M	96	288	●	●	●	-	-	-	
	291 S3M	97	291	●	●	●	-	-	-	
	300 S3M	100	300	●	●	●	●	●	●	

ทำการคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างแกนที่ถูกต้องจากสมการที่ (3.5)

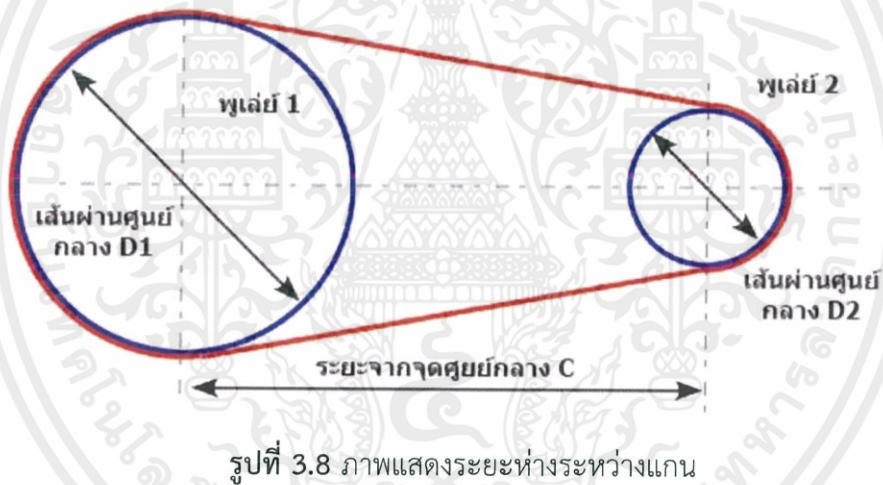
$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(Dp - dp)^2}}{8} \quad (3.5)$$

โดย C ระยะห่างระหว่างแกน

$Dp$  เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ใหญ่ (mm)

$dp$  เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์เล็ก (mm)

$Lp$  ความยาวรอบสายพาน (mm)



รูปที่ 3.8 ภาพแสดงระยะห่างระหว่างแกน

ค่า เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์เล็ก ( $dp$ ) และ เส้นผ่านศูนย์กลางพูลเลย์ใหญ่ ( $Dp$ ) สามารถทราบได้จากตารางในรูปที่ 3.6 คือ 26.74 mm และ 34.38 mm ตามลำดับ ส่วนค่าของ  $b$  จะได้จากการคำนวณจากสมการที่ (3.6)

$$b = 2Lp - \pi(Dp - dp) \quad (3.6)$$

แทนค่า ความยาวรอบสายพาน (Lp) เท่ากับ 300 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์เล็ก (dp) และ เส้นผ่านศูนย์กลางพูลเลย์ใหญ่ (Dp) ลงในสมการที่ (3.6) จะได้

$$b = 407.9858$$

แทนค่า ความยาวรอบสายพาน Lp, เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ใหญ่ Dp, เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์เล็ก dp และค่า b ลงในสมการที่ (3.5) เพื่อหาค่าระยะห่างระหว่างแกน C

$$C = 101.9248$$

รายละเอียดของสายพานส่งกำลังที่ได้ทำการพิจารณาเลือกแสดงในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.9 สายพานส่งกำลังแบบไหม้มีง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของสายพานส่งกำลังที่เราเลือกใช้งาน

Belt Shape	Closed End	Belt Tooth Surface	Standard (Single Sided)
Belt Material	Rubber Belt	Core Wire Material	[Glass Fiber] Glass Fiber
Belt Type	S3M	Belt Width (mm)(mm)	15
Belt Shape Type	Round Tooth Profile Super Torque	Transmission Torque	High Torque Transmission
Circumference Length(mm)	300	Number of Teeth	100
RoHS	6	-	-

### 3.1.3 การเลือกพูลเลย์

โดยพูลเลย์ที่เลือกใช้คือพูลเลย์ชนิดทรงแท่งพูลเลย์ S3M เนื่องจากในการทำงานที่ต้องการออกแบบนั้น ต้องการความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งและความเร็ว ในการควบคุมอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ โดยพูลเลย์ที่เลือกมาใช้ในการออกแบบนั้นเป็นชนิดเดียวกันกับสายพานเพื่อให้การทำงานร่วมกันในระบบส่งกำลังมีประสิทธิภาพและการขบกันระหว่างฟันของสายพานและพูลเลย์ไม่เกิดปัญหาที่ก่อให้เกิดข้อผิดพลาด โดยจะทราบจำนวนฟันของพูลเลย์ใหญ่และพูลเลย์เล็กเล็ก ได้จากบทที่ 3.1.2 คือ 36 ซี่ และ 28 ซี่ ตามลำดับ

โดยในการเลือกพูลเลย์นั้น ได้ยกมาตรฐานของบริษัท MISUMI มาเป็นมาตรฐานในการออกแบบ เช่นเดียวกับสายพานส่งกำลัง โดยรายละเอียดของพูลเลย์แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงคุณสมบัติของพูลเลย์ที่เลือกใช้ในการออกแบบ

Type	Timing Pulleys	Belt Type	S3M
Belt Width Used (mm)(mm)	15	Number of Teeth(T)	28,36
Pulley Shape	Shape A	Material	[Steel] S45C Equivalent
Surface Treatment	Not Provided	Timing Pulley / Idler	Pulleys
Shaft Bore Spec.	-	Shaft Bore Specifications (Both Ends Stepped Hole) [Y](mm)	-
Shaft Bore Specifications (New JIS Keyway Hole + Tap) [N](mm)	-	Shaft Bore Specifications (Old JIS Keyway Hole + Tap) [C](mm)	-
Shaft Bore Specifications (Round Hole + Tap) [P](mm)	6.35	Shaft Bore Specifications (Round Hole) [H](mm)	-
Shaft Bore Specifications (Shaft Bore Dia. 10 Keyway Width 4mm Height 1.8mm) [NK]	-	Shaft Bore Specifications (Stepped Hole) [V](mm)	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4 กว้านเก็บสลิง

เนื่องจากต้องการใช้กว้านเก็บสลิงที่มีขนาดที่เหมาะสมต่อการทำงานและลักษณะการทำงาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบกว้านเก็บสลิงขึ้นมาใหม่เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานโดยการออกแบบจะใช้การคำนวณเพื่อหาขนาดของด้านต่างๆ

การออกแบบกว้านเก็บสลิงสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการออกแบบคือ ขนาดสลิง น้ำหนักที่ต้องการยก ความจุของสลิง ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องใช้ในการคำนวณเพื่อนำไปสร้างแบบจำลอง เครื่องเปลี่ยนโคมไฟ โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบดังนี้

- ต้องรองรับน้ำหนักที่ 5 กิโลกรัม
- สลึงต้องมีความยาว 10 เมตร

#### 1. ขนาดสลิง

การคำนวณหาขนาดสลิงต้องทราบน้ำหนักที่ต้องการยกและข้อกำหนดทางเทคนิคของผู้ผลิต เพื่อนำค่ามาหาขนาดของสลิงที่จะนำมาออกแบบ

**ROUND  
STRAND  
6/7 (6/1)**

NOM. ROPE DIA	APPROX. MASS Kg./100m	MINIMUM BREAKING FORCE		
		1570 N/mm <sup>2</sup>	1770 N/mm <sup>2</sup>	1960 N/mm <sup>2</sup>
mm	FIBRE CORE	kN	kN	kN
3	3.22	4.7	5.3	5.9
4	5.72	8.3	9.4	10.4
5	8.94	13.0	14.7	16

รูปที่ 3.10 ข้อกำหนดทางเทคนิคของสลิง

โดยค่าเมื่อดูจากรูปที่ 3.10 จะทราบค่า Length of wire rope = 10,000 mm ค่า Minimum Beaking Load = 4.7 kN และค่า Mass(kg/m) = 0.0322 kg/m นำค่าที่ได้แทนลงในสมการที่ (3.7) เพื่อหา ค่าเซฟตี้แฟคเตอร์ของสลิง

$$\text{Safety factor of rope} = \frac{\text{minimum breaking load(kN)}}{\text{load applied(kN)}} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Safety factor of rope} = \frac{4.7 \text{ kN}}{0.05 \text{ kN}} = 94$$

ดังนั้นค่า Safety Factor of Rope มีค่าเท่ากับ 94

## 2. กว้านเก็บสลิง

โดย ค่า Maximum Load = 0.05 kN หาได้จากน้ำหนักที่ต้องการยกค่า Diameter of Rope = 3 mm จากเส้นผ่าศูนย์กลางของสลิง และความยาวของสลิงที่ต้องการใช้ Length of Rope = 10,000mm นำค่าที่หามาได้ มาใช้คำนวณค่าต่างๆของกว้านเก็บสลิงโดยตัวแปรต่างๆแสดงในรูปที่ 3.11

หาค่า Diameter of Drum โดยค่า ratio of Rope Diameter กำหนดให้เป็น 20

$$\begin{aligned} D_{drum} &= (\text{ratio of rope diameter between 20 to 25}) \times d_{rope} & (3.8) \\ D_{drum} &= 20 \times 3 \\ D_{drum} &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

หาค่า Groove Radius โดยค่า  $d_{rope}$  ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของสลิงมีค่าเท่ากับ 3 mm

$$\begin{aligned} r_g &= 0.53 \times d_{rope} & (3.9) \\ r_g &= 0.53 \times 3 \text{ mm} \\ r_g &\approx 1.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

หาค่า Groove Diameter โดยค่า  $r_g$  ค่า Groove radius ให้ใช้ค่าประมาณ 1.6 mm

$$\begin{aligned} d_g &= r_g \times 2 & (3.10) \\ d_g &= 3.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

หาค่า Pitch Diameter โดยค่า  $r_g$  ค่า Groove Radius ให้ใช้ค่าประมาณ 1.6 mm โดยจะคำนวณหาทั้งค่าสูงสุดและต่ำสุด คือ  $P_{max}$  และ  $P_{min}$  ตามลำดับ

$$P_{min} = 2.065 \times r_g \quad (3.11)$$

$$P_{min} = 3.304 \text{ mm}$$

$$P_{max} = 2.18 \times r_g \quad (3.12)$$

$$P_{max} = 3.488 \text{ mm}$$

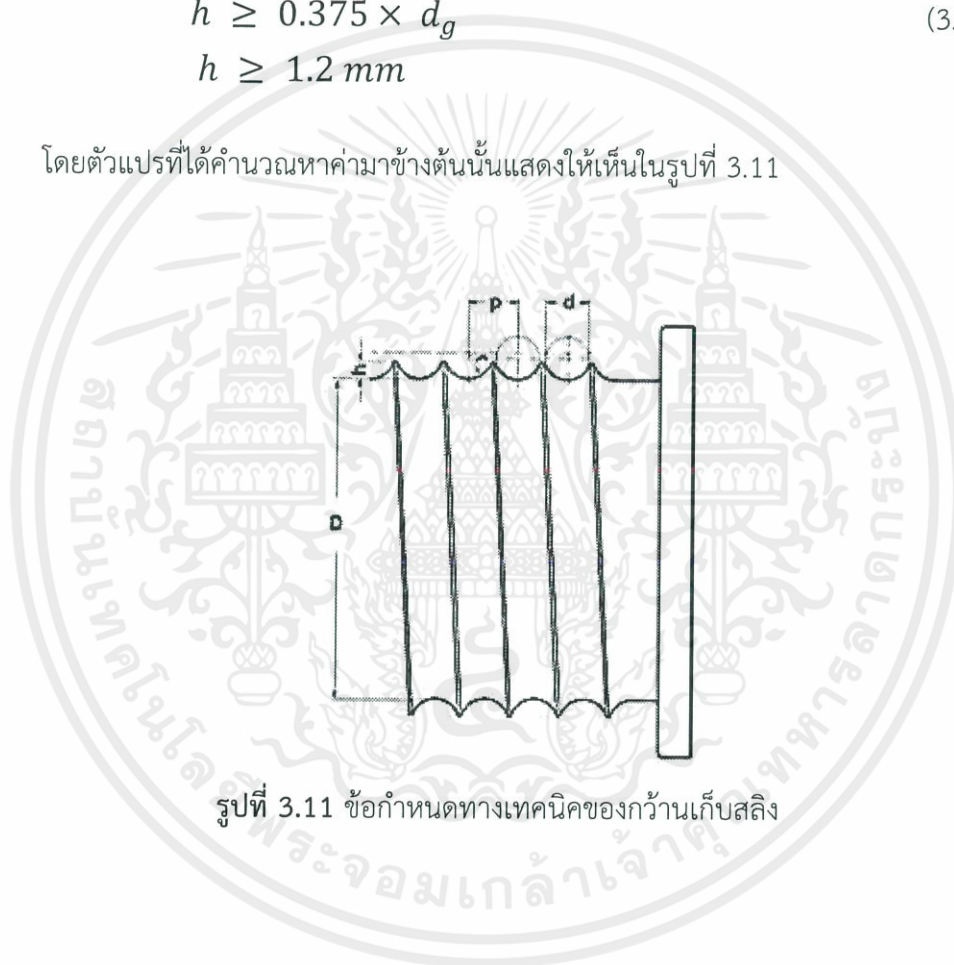
โดยจะเลือกใช้ค่า P ค่า Pitch Diameter เลือกใช้ค่าเท่ากับ  $3.4 \text{ mm}$

หาค่า Groove Depth โดยใช้ค่า  $d_g$  ค่า Groove Diameter มีค่าเท่ากับ  $3.2 \text{ mm}$

$$h \geq 0.375 \times d_g \quad (3.13)$$

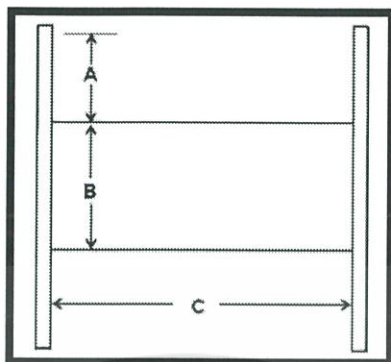
$$h \geq 1.2 \text{ mm}$$

โดยตัวแปรที่ได้คำนวณหาค่ามาข้างต้นนั้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ข้อกำหนดทางเทคนิคของก้านเก็บลีต

### 3. ความจุของก้วานเก็บสลิง



รูปที่ 3.12 ตัวแปลที่ใช้หาความจุก้วานเก็บสลิง

$$\text{ความจุก้วานเก็บสลิง} = (A + B) \times A \times C \times K \quad (3.14)$$

$$K = \frac{\pi}{1000(d_{rope})^2} \quad (3.15)$$

เมื่อ A คือ ระยะของพื้นที่เก็บสลิง

B คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของแกนกลางก้วาน

C คือ ความกว้างของช่องเก็บสลิง

K คือ ค่าคำนวณได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางของสลิง

$d_{rope}$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของสลิง

$$\text{ความจุก้วานเก็บสลิง} = (7.5 + 60) \times 7.5 \times 60 \times \frac{\pi}{1000(3)^2}$$

$$\text{ความจุก้วานเก็บสลิง} = (7.5 + 60) \times 7.5 \times 60 \times 0.00035$$

$$\text{ความจุก้วานเก็บสลิง} = 10.6 \text{ m}$$

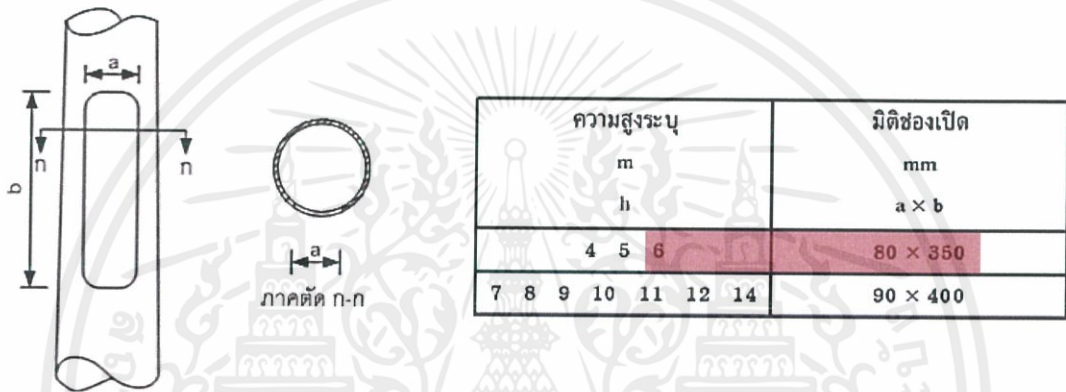
จะได้แบบจำลองก้วานเก็บสลิงแบบสองมิติที่ค่าความยาวของด้านต่างๆมาจากการคำนวณดังรูปที่

3.13



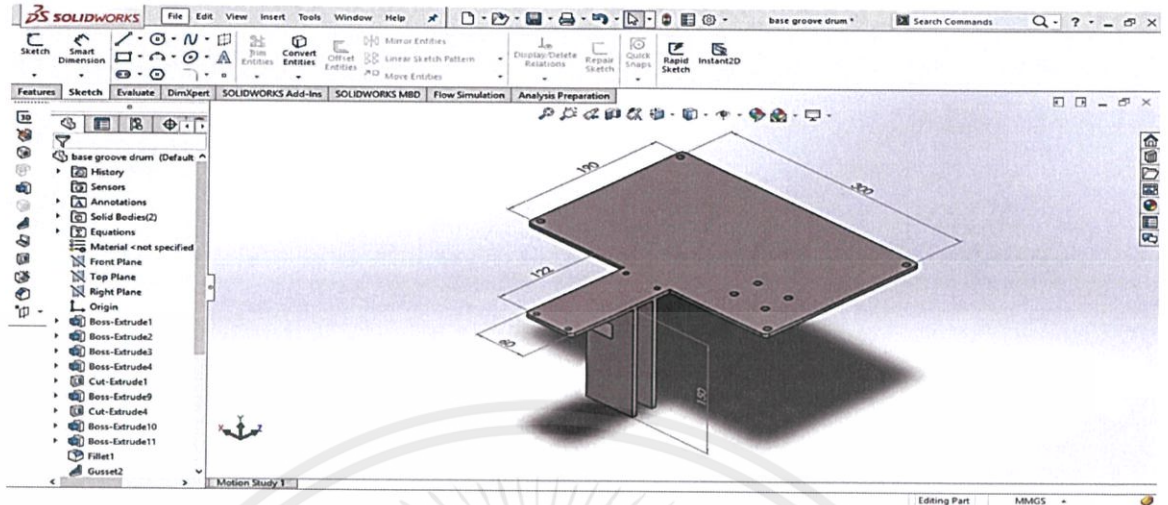
### 3.1.5 ฐานติดตั้งอุปกรณ์

ฐานติดตั้งอุปกรณ์เป็นส่วนที่ใช้ติดตั้ง กว้านเก็บสลิง ระบบส่งกำลัง แบตเตอรี่ แผงวงจรควบคุม และฝาครอบอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟเข้ากับเสาโคมไฟมีฐานรองรับและตัวยึดเพื่อให้เครื่องเปลี่ยนโคมไฟสามารถติดตั้งกับเสาโคมไฟได้อย่างมั่นคง ในการออกแบบต้องคำนึงถึงช่องเปิดของเสาโคมไฟซึ่งปกติช่องเปิดจะเป็นจุดต่อระบบไฟฟ้าของเสาโคมไฟโดยมีขนาดและความกว้างตามมาตรฐานขึ้นอยู่กับความสูงของเสาโคมไฟ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 มาตรฐานช่องเปิดเสาโคมไฟ

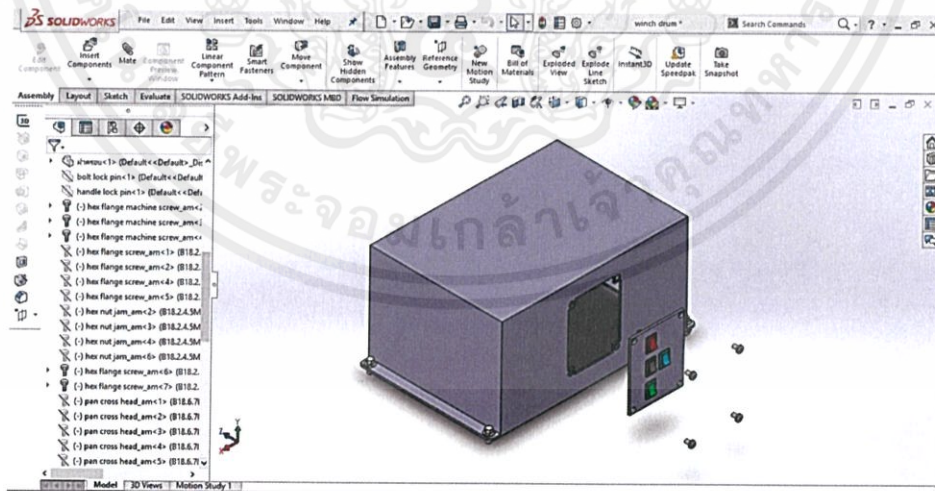
เมื่อทราบมาตรฐานช่องเปิดเสาโคมไฟแล้วขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบฐานติดตั้งอุปกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องเปลี่ยนโคมไฟให้มีขนาดที่เหมาะสมและสามารถติดตั้งกับเสาโคมไฟได้อย่างมั่นคง ส่วนประกอบของฐานติดตั้งอุปกรณ์ประกอบไปด้วย กว้านเก็บสลิง ระบบส่งกำลัง แบตเตอรี่ แผงวงจรควบคุมและฝาครอบ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ฐานติดตั้งอุปกรณ์

### 3.1.5 ฝาครอบอุปกรณ์

การออกแบบฝาครอบต้องทำให้มีขนาดเหมาะสมกับฐานติดตั้งอุปกรณ์และฝาครอบยังต้องมีช่องสำหรับติดตั้งแผงสวิตช์ควบคุมด้วยดังรูปที่ 3.16

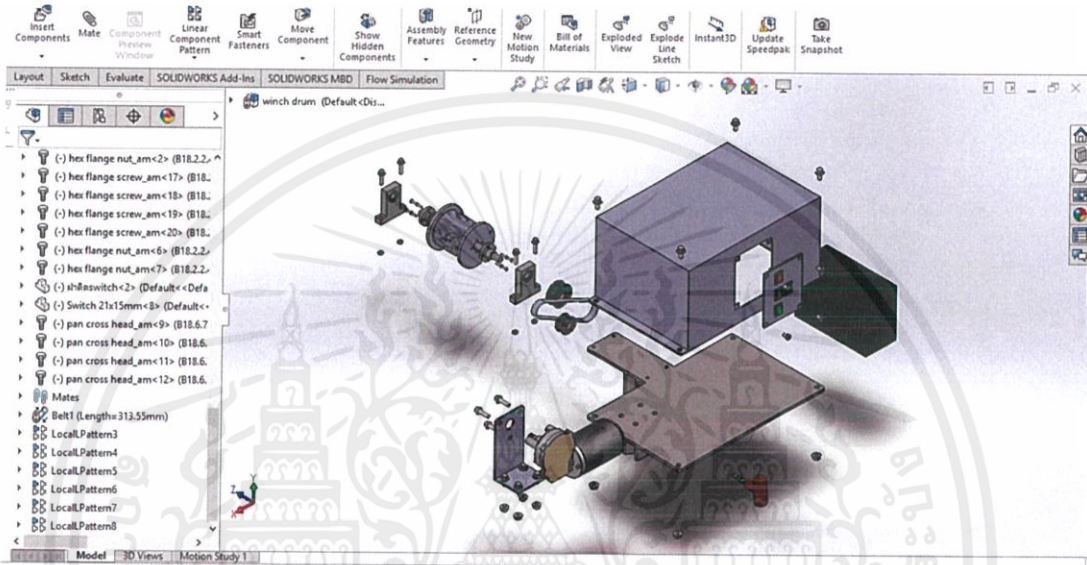


รูปที่ 3.16 ฝาครอบอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 การประกอบชิ้นงาน

การประกอบเครื่องเปลี่ยนโคมไฟหลังจากที่เลือกอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและออกแบบแล้วนำ  
อุปกรณ์ต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกันโดยอุปกรณ์แต่ละชุดจะติดตั้งบนฐานติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่  
3.17



รูปที่ 3.17 การประกอบชิ้นงาน

### 3.1.7 การออกแบบฉากยึดสลึงและข้อต่อโคมไฟ

การออกแบบฉากยึดสลึงและข้อต่อโคมไฟเป็นการออกแบบอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเสาโคมไฟทำหน้าที่ยึดโคมไฟเข้ากับเสา ซึ่งฉากยึดสลึงที่ติดตั้งภายในบริเวณช่องเปิดของเสาทำหน้าที่ยึดระบบสลึงที่ต่อมาจากโคมไฟเข้ากับเสาในขณะที่ระบบส่องสว่างทำงานปกติ ส่วนข้อต่อโคมไฟทำหน้าที่เป็นจุดติดตั้งโคมไฟเข้ากับเสาโคมไฟเพื่อให้โคมไฟไม่แกว่งในขณะใช้งานและตำแหน่งของแสงไฟที่ส่องลงมาคงที่ ณ ตำแหน่งเดิม

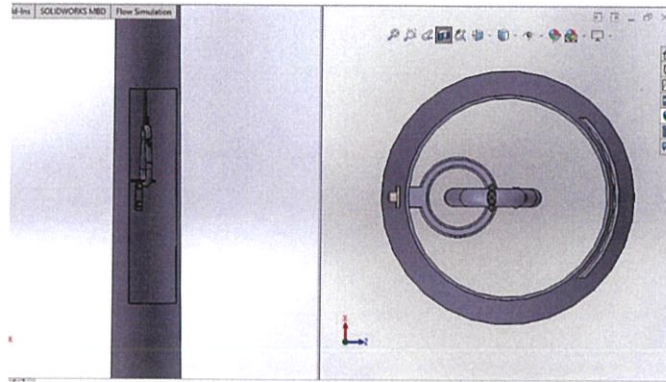
#### 1. การออกแบบฉากยึดสลึง

ฉากยึดสลึงติดตั้งอยู่ในเสาโคมไฟบริเวณช่องเปิดเพื่อให้สะดวกต่อการซ่อมบำรุงโคมไฟซึ่งในการออกแบบต้องคำนึงถึงขนาดของช่องเปิดและก้านเก็บสลึงของเครื่องเปลี่ยนโคมไฟเพื่อสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ฉากยึดสลึง

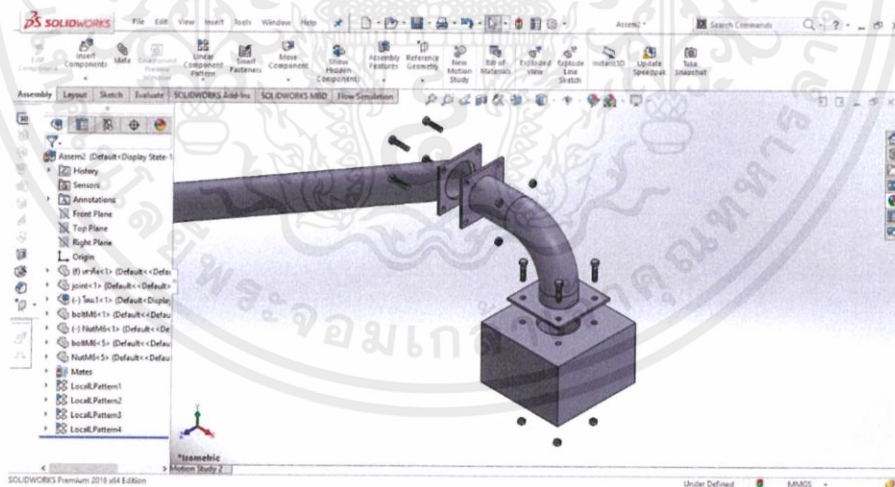
การติดตั้งฉากยึดสลึงควรติดตั้งอยู่ตรงกลางของช่องเปิดเพื่อให้สะดวกต่อการติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟและการใช้งานขณะซ่อมบำรุง ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การติดตั้งฉากยึดสลิง

## 2. การออกแบบข้อต่อโคมไพ

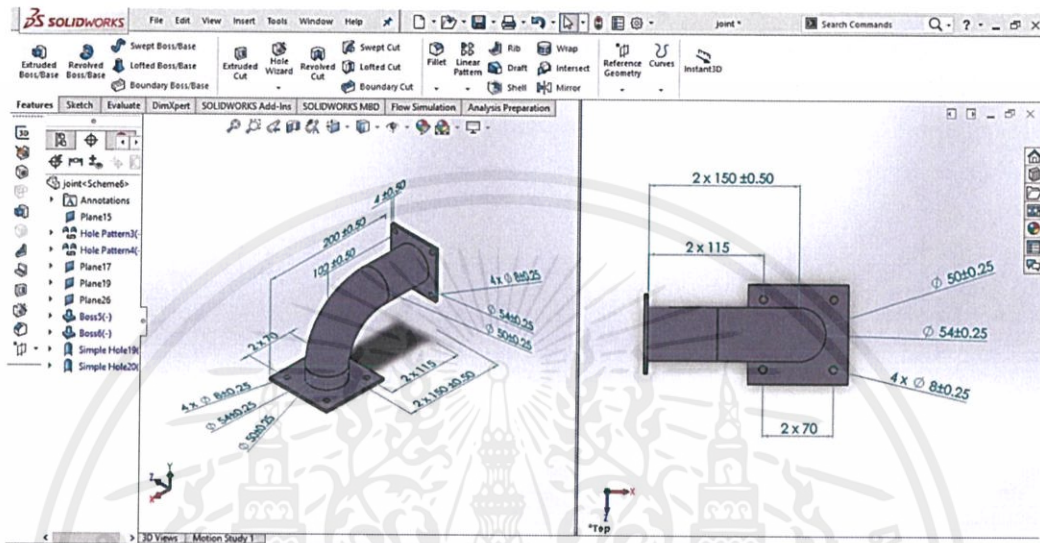
การออกแบบข้อต่อโคมไพเพื่อให้โคมไพสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเพราะโคมไพที่เลือกใช้ไม่ใช่โคมไพถนนทั่วไปที่มีฐานติดกับปลายกิ่งเสาโคมไพและหลักการออกแบบที่ใช้น้ำโคมไพลงมาเชื่อมบำรุงรวมถึงการติดตั้งโคมไพบนเสาโคมไพโดยใช้ระบบสลิงจึงมีความจำเป็นที่ต้องออกแบบข้อต่อโคมไพเพิ่มเติมดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ข้อต่อโคมไพ

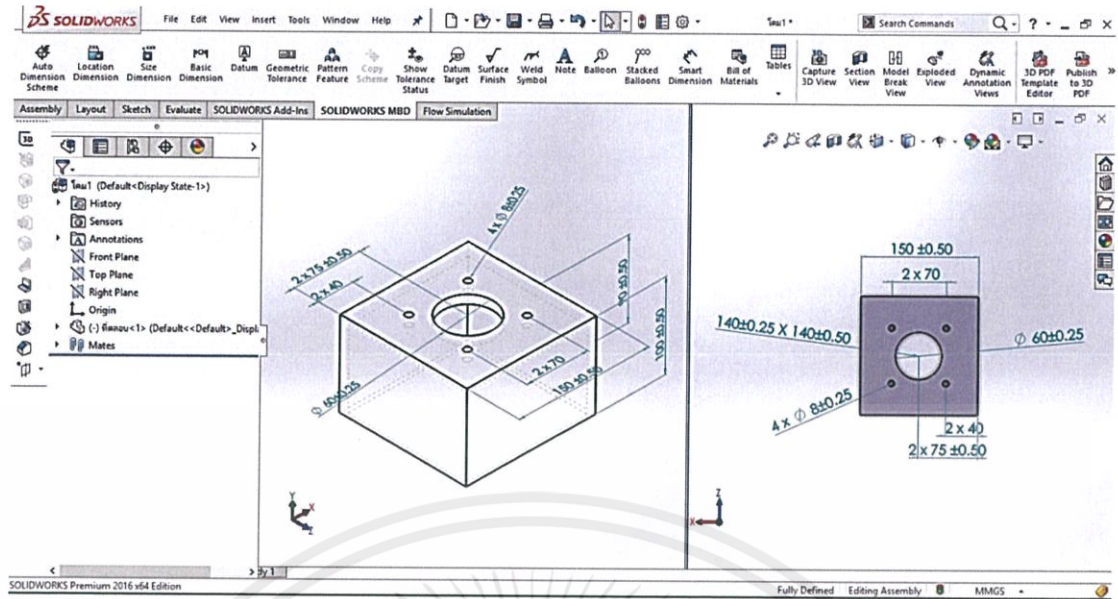
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อต่อโคมไฟมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 อัน คือ ข้องอและฐานกล่องครอบโคมไฟ ซึ่งข้องอจะเป็นส่วนที่ติดตั้งบริเวณปลายกิ่งเสาโคมไฟ การออกแบบข้องอต้องให้ส่วนฐานที่ติดกับกล่องครอบโคมไฟได้ระนาบเดียวกับพื้น ดังรูปที่ 3.21



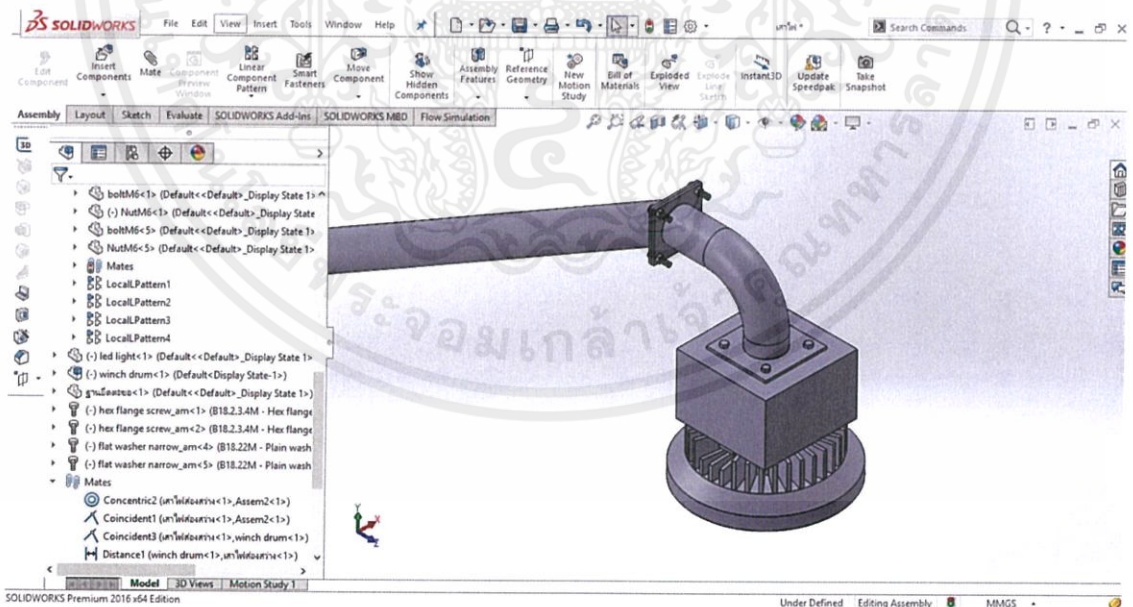
รูปที่ 3.21 ข้องอ

ส่วนของกล่องครอบโคมไฟมีหน้าที่เป็นตัวรองรับโคมไฟเมื่อนำโคมไฟขึ้นไปติดตั้งที่ปลายของเสาโคมไฟและทำให้โคมไฟไม่แกว่ง ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 กล่องครอบโคมไฟ

เมื่อนำส่วนของข้อต่อและกล่องครอบโคมไฟมาประกอบเข้ากับปลายกิ่งเสาโคมไฟก็สามารถติดตั้งข้อต่อโคมไฟเข้ากับเสาแล้วจึงติดตั้งโคมไฟ ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การติดตั้งโคมไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.8 การคำนวณระบบส่งกำลัง

โดยขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณเพื่อตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบส่งกำลัง เพื่อให้ทราบว่าอุปกรณ์ที่เลือกมาใช้ในการออกแบบนั้นสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขการทำงานในทางทฤษฎีได้อย่างเป็นที่ต้องการ

จากเงื่อนไขการทำงานที่กำหนดไว้ ระบบส่งกำลังสามารถยกคอมโพขนาด 5 กิโลกรัมได้ และใช้เวลาไม่เกิน 30 วินาที ในการนำตัวคอมลงมาจากยอดเสาไฟ

1. ทำการคำนวณหาว่าจากคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ได้เลือกมาสามารถยกน้ำหนักของคอมโพไฟได้ไม่น้อยกว่า 5 kg

จากสมการ 
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad (3.16)$$

โดย  $n_2$  คือ จำนวนฟันของพูลเลย์ใหญ่

$n_1$  คือ จำนวนฟันของพูลเลย์เล็ก

$V_1$  คือ ความเร็วรอบต่อนาทีของพูลเลย์เล็ก (rpm)

$V_2$  คือ ความเร็วรอบต่อนาทีของพูลเลย์ใหญ่ (rpm)

$\tau_2$  คือ แรงหมุนของพูลเลย์ใหญ่ (kg.cm)

$\tau_1$  คือ แรงหมุนของพูลเลย์เล็ก (kg.cm)

$V_1$  นั้นได้ค่าจากมอเตอร์จากตารางที่ 3.1 = 100 rpm และ  $n_2 = 36$  กับ  $n_1 = 28$  คือ จำนวนฟันของพูลเลย์ใหญ่และเล็กนั้นได้ค่าจากตารางที่ 3.4 ทำการหา  $V_2$  ความเร็วรอบต่อนาทีของพูลเลย์ใหญ่จากสมการที่ (3.16) จะได้

$$\frac{36}{28} = \frac{100}{V_2}$$

$$V_2 = 77.78 \text{ rpm}$$

$\tau_1$  นั้นได้ค่ามาจากมอเตอร์จากตารางที่ 3.1 = 2.9 N.m แปลงเป็น 29.57 kg.cm ทำการหา  $\tau_2$  จากสมการที่ (3.16)

$$\frac{36}{28} = \frac{\tau_2}{29.57}$$

$$\tau_2 = 38 \text{ kg.cm}$$

ดังนั้นเมื่อแกนเก็บสลิงมีรัศมีเท่ากับ 3 cm ดังนั้น ทำการคำนวณว่าอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟสามารถรับน้ำหนักของหลอดไฟได้กี่กิโลกรัม โดย

$$\frac{38 \text{ kg.cm}}{3 \text{ cm}} = 12.6 \text{ kg}$$

อุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟสามารถทำงานโดยรับน้ำหนักได้ 12.6 kg

2. ทำการคำนวณหาว่าทำการคำนวณหาว่าจากคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ได้เลือกมาสามารถยกใช้เวลาในการนำโคมไฟลงมาจากยอดเสาไฟได้ในเวลาที่วินาที

จากบทที่ 3.14 เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเก็บสลิงมีค่าเท่ากับ 6 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางของสลิงมีค่าเท่ากับ 0.3 เซนติเมตร ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเก็บสลิงเมื่อทำการม้วนเก็บสลิงมีค่าเท่ากับ 7 เซนติเมตร มีรัศมีเท่ากับ 3.5 เซนติเมตรทำการคำนวณหาเส้นรอบวงจากสมการที่ (3.17) และ  $\pi$  มีค่าเท่ากับ 3.14

$$\text{เส้นรอบวง} = 2\pi R \quad (3.17)$$

$$\text{จะได้} \quad \text{เส้นรอบวง} = 2 \times 3.14 \times 3.5 = 21.98 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ว่าเมื่อตัวเก็บสลิ้งหมุนหนึ่งรอบเก็บสลิ้งได้เท่ากับ 21.98 cm แต่ว่าการเปลี่ยนหลอดไฟนั้นตัวเก็บสลิ้งต้องหมุนเก็บสลิ้ง 6 เมตร หรือ 600 cm จะต้องหมุน  $600/21.98 = 28$  รอบ

ดังนั้น เมื่อความเร็วในการหมุนของตัวเก็บสลิ้งเท่ากับความเร็วรอบต่อในการหมุนของพูลเลย์ตัวใหญ่เท่ากับ 77.78 rpm หมายความว่าใน 60 วินาที ตัวเก็บสลิ้งสามารถหมุนได้ 77.78 รอบ ดังนั้นในการหมุน 28 รอบต้องใช้เวลาเท่ากับ

$$\frac{60}{77.78} = \frac{t}{28}$$

โดย กำหนดให้ t คือ เวลา (วินาที)

$$t = 21.59 \text{ วินาที}$$

อุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟใช้เวลา 21.59 วินาที ในการนำคอมไฟลงมาจากยอดเสาไฟ

### 3.2 การเขียนโปรแกรมสำหรับอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ

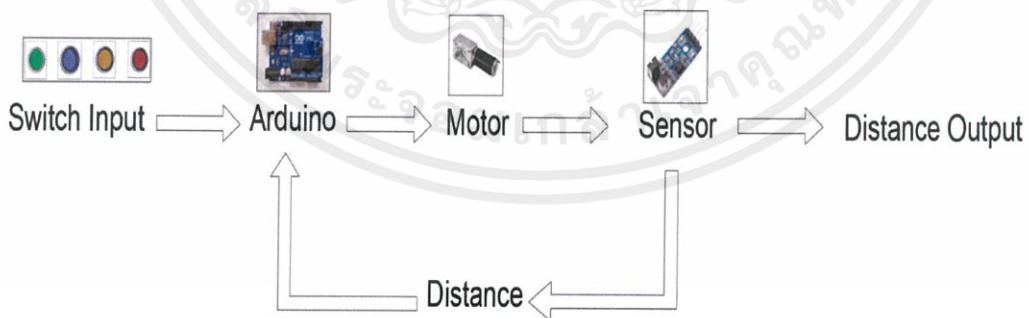
ซอฟต์แวร์สำหรับอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟคือ Arduino IDE เป็นโปรแกรมสำหรับใช้กับบอร์ด Arduino โดยเฉพาะ ไอคอนโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.24 ซึ่งการควบคุมนั้น มีการควบคุมทิศทางมอเตอร์ การควบคุมความเร็วโดยใช้ PWM และการควบคุมแบบป้อนกลับในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.24 Arduino

#### ภาพรวมของโปรแกรม

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมแสดงแผนผังการทำงาน ดังรูปที่ 3.25 โดยมีสวิทช์เป็นอินพุต 4 ตัวคือ เปิด/ปิด ขึ้น ลง และปุ่มติดตั้ง ซึ่งเมื่อสั่งให้มอเตอร์หมุน จะมีเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของมอเตอร์ เก็บค่าไว้สำหรับปุ่มติดตั้ง เมื่อกดปุ่มติดตั้งจะทำให้คืนค่าการหมุนของมอเตอร์ทั้งหมดซึ่งทำให้โคมไฟกลับสู่ตำแหน่งเดิมได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.25 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การดำเนินการของโปรแกรมควบคุม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้บอร์ด Arduino Uno R3 เป็นตัวประมวลผล โดยใช้ควบคู่กับ ไดรฟ์เวอร์ควบคุมมอเตอร์ดีซี H-bridge Model SE-HB10-2 ในการควบคุมมอเตอร์ และมีอินพุต 2 ชนิด คือ สวิตช์และ เซนเซอร์ MH-Sensor เพื่อวัดค่าความเร็วของมอเตอร์และป้อนกลับเข้า Arduino ซึ่งฟังก์ชันการใช้งานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

### 1. การควบคุมความเร็ว

การควบคุมความเร็วนั้นใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นสวิตช์อินพุตให้กับบอร์ด Arduino โดยกำหนดเป็นอนาล็อก อินพุตมีค่าตั้งแต่ 0 – 1023 ซึ่งแปรผันตรงกับความเร็วมอเตอร์

### 2. ระยะเวลาการหมุนของมอเตอร์

ใช้เซนเซอร์ MH-Sensor เป็นดิจิตอลอินพุตตรวจจับวงล้อลักษณะเป็นซี่ ติดกับแกนหมุนมอเตอร์ ได้สัญญาณ 0 กับ 1 และทำการกำหนดให้โปรแกรมเก็บค่าเมื่อสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไป 1 หรือ 1 ไป 0 ผลรวมออกมาจะได้ระยะเวลา

### 3. ทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับการกดสวิตช์ On/Off, Up, Down และ Return ซึ่งเมื่อมีการกดสวิตช์ซ้ำกันจะทำให้มอเตอร์หยุดทำงานทันที ค่าลอจิกของการกดสวิตช์แสดงในตารางที่

3.5

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงลอจิกการกดสวิทช์ของมอเตอร์

On/Off	Down	Up	return	Motor
1	1	1	1	Stop
1	1	1	0	Stop
1	1	0	1	Stop
1	1	0	0	Down
1	0	1	1	Stop
1	0	1	0	Up
1	0	0	1	Up to existing position then stop
1	0	0	0	Stop
0	1	1	1	Stop
0	1	1	0	Stop
0	1	0	1	Stop
0	1	0	0	Stop
0	0	1	1	Stop
0	0	1	0	Stop
0	0	0	1	Stop
0	0	0	0	Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

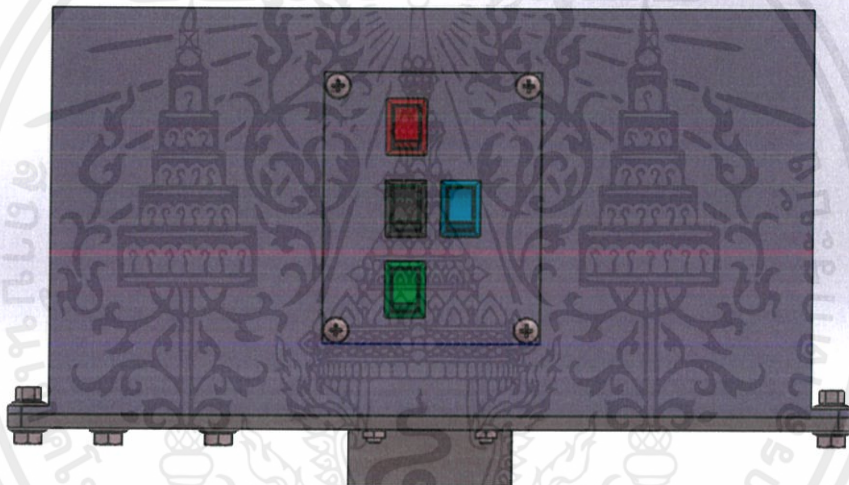
## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

บทนี้จะเป็นการนำเสนอใช้งานของอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ แบ่งเป็นการทำงานกล่องควบคุม และแบบจำลองเสาไฟ มีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 การใช้งานกล่องควบคุม

ในการใช้งานกล่องควบคุมมอเตอร์สำหรับยกโคมไฟขึ้นลงนั้น จะมีสวิทซ์สั่งงาน 4 ปุ่มให้ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4.1



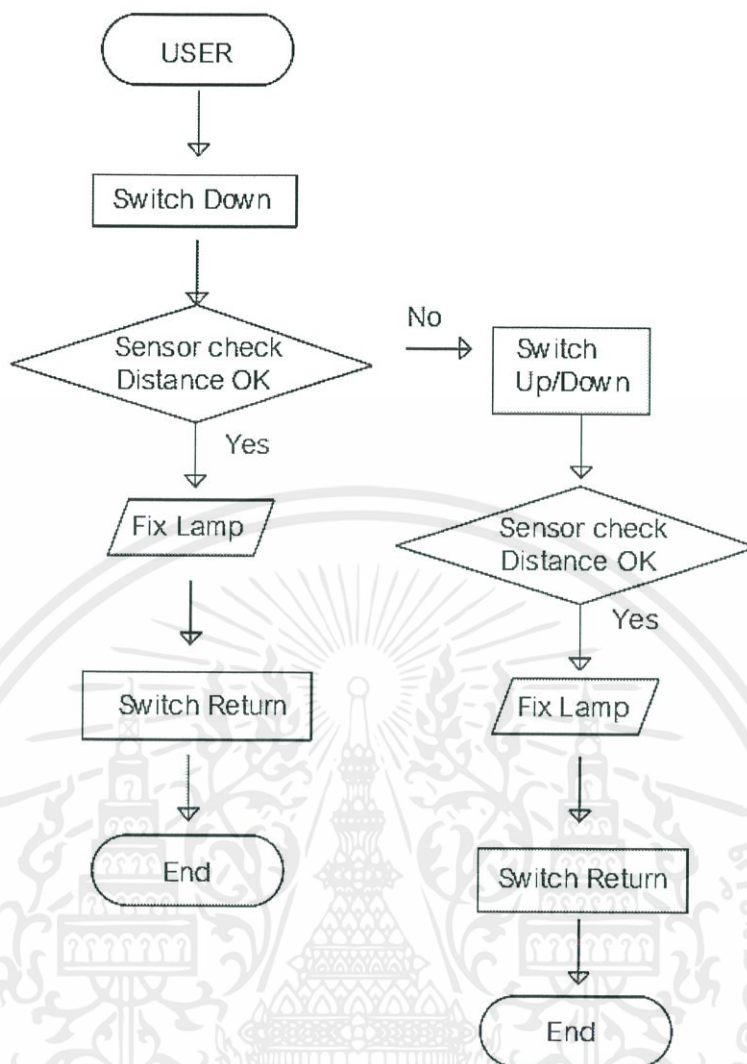
รูปที่ 4.1 สวิทซ์สั่งงาน

สวิทซ์สีแดง คือ สวิทซ์ เปิด/ปิด อุปกรณ์

สวิทซ์สีดำ คือ สวิทซ์เลื่อนโคมไฟขึ้น

สวิทซ์สีเขียว คือ สวิทซ์เลื่อนโคมไฟลง

สวิทซ์สีฟ้า คือ สวิทซ์รีเทิร์นระยะทางที่หลอดไฟเลื่อนขึ้น/ลง มาทั้งหมด กล่าวคือโปรแกรมของกล่องควบคุมสามารถจำระยะทางและทิศทางที่มอเตอร์หมุนมาทั้งหมดได้ ปุ่มรีเทิร์นจะทำหน้าที่สั่งมอเตอร์หมุนในทิศทางตรงข้ามที่ระยะทางเท่าเดิม โคมไฟ จึงกลับไปติดตั้งอยู่บนยอดเสาได้พอดีซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนผังการทำงาน

สาริตถิวิธีการใช้เครื่องเปลี่ยนโคมไฟ

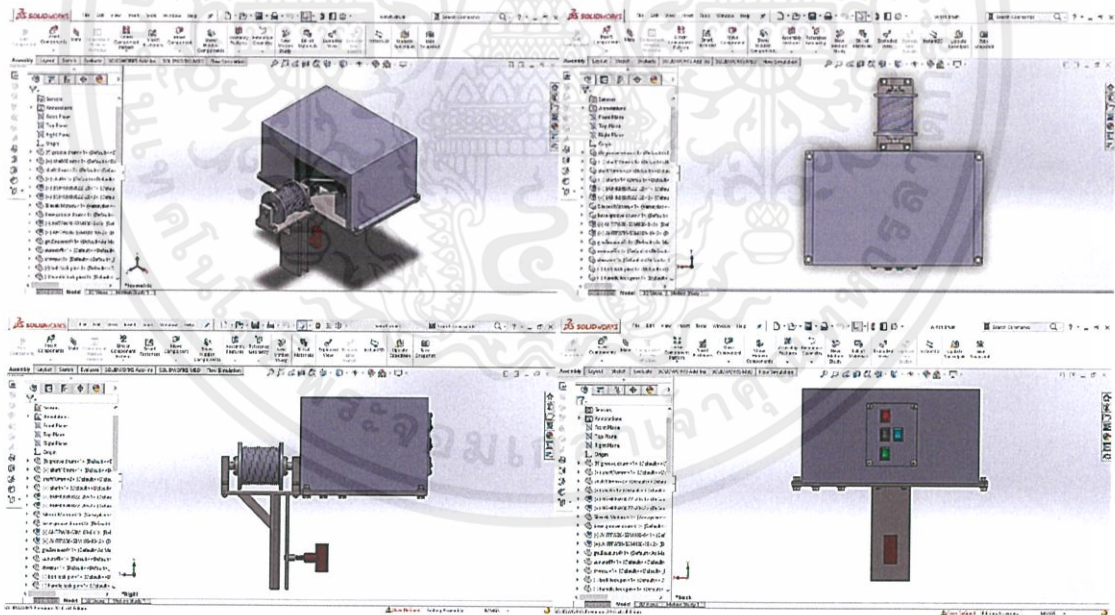
1. เริ่มจากผู้ใช้งานทำการกดปุ่ม Down ที่กล่องควบคุม มอเตอร์หมุนสลิงลงมาเพื่อนำโคมไฟลงมาทำการซ่อมแซม ระหว่างนี้เซ็นเซอร์จะทราบว่ามอเตอร์หมุนทิศทางใด และระยะทางเท่าไรแล้ว
2. เมื่อผู้ใช้งานเลื่อนลงมาได้สักระยะหนึ่งแล้ว ถ้าความสูงไม่เป็นที่ต้องการ สามารถกดปุ่ม Up/Down ได้ตลอดเวลา โปรแกรมสามารถทราบทิศทางและระยะทางได้เช่นเดิม
3. เมื่อได้ความสูงของโคมไฟที่ต้องการแล้ว จึงทำการซ่อมหลอดไฟ
4. เมื่อซ่อมเสร็จแล้ว ผู้ใช้งานเพียงแคกดปุ่ม Return เท่านั้นมอเตอร์จะหมุนสลิงนำโคมไฟกลับไปที่ได้เดิมได้อย่างแม่นยำ
5. จบการทำงาน

## 4.2 การจำลองชิ้นงานด้วยโปรแกรม Solidworks

การจำลองชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Solidworks ซึ่งจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณในแบบที่ 3 มาใช้ในการออกแบบด้วย ในแบบจำลองประกอบไปด้วยเครื่องเปลี่ยนโคมไฟและกิ่งโคมไฟถนนที่แก้ไขให้เหมาะกับการติดตั้งและเคลื่อนย้ายในการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนโคมไฟซึ่งโคมไฟที่ใช้ต้องเป็นประเภท High Bay โดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน ประหยัดเวลา สะดวกในการเคลื่อนย้าย ใช้คนในการทำงานน้อย

### 4.2.1 แบบจำลองเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ

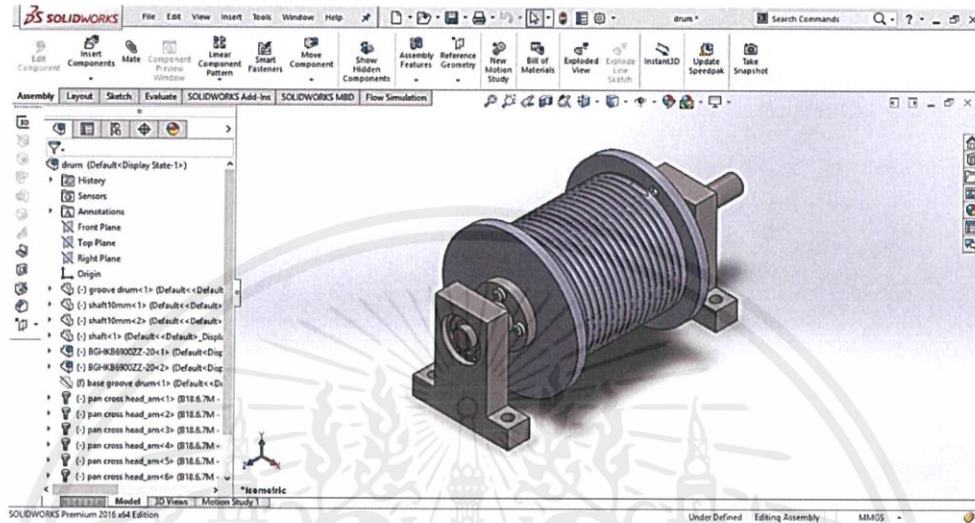
การจำลองชิ้นงานเครื่องเปลี่ยนโคมไฟโดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานการติดตั้งกับเสาโคมไฟถนนและขนาดเล็กเพื่อให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย เครื่องเปลี่ยนโคมไฟประกอบไปด้วย กว้านเก็บสลิง ระบบส่งกำลัง(มูเลย์และสายพาน) ฐานติดอุปกรณ์ ฝาครอบ และแผงสวิตช์ควบคุม ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แบบจำลองเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ

#### 4.2.1.1 แบบจำลองคว้านเก็บสลิง

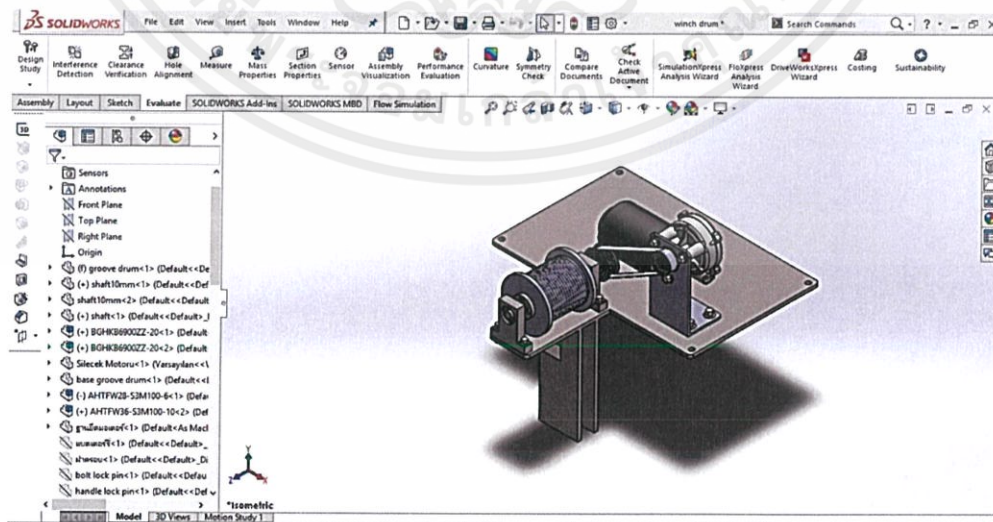
แบบจำลองคว้านเก็บสลิงโดยออกแบบสลิงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ให้มีความจุอยู่ที่ 10 เมตร และทำการเจาะร่องเพื่อช่วยให้สลิงเรียงตัว ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แบบจำลองคว้านเก็บสลิง

#### 4.2.1.2 แบบจำลองระบบส่งกำลัง

แบบจำลองระบบส่งกำลังประกอบไปด้วย มอเตอร์และสายพาน ทำหน้าช่วยส่งกำลังมอเตอร์ให้กับคว้านสลิงดังรูปที่ 4.6

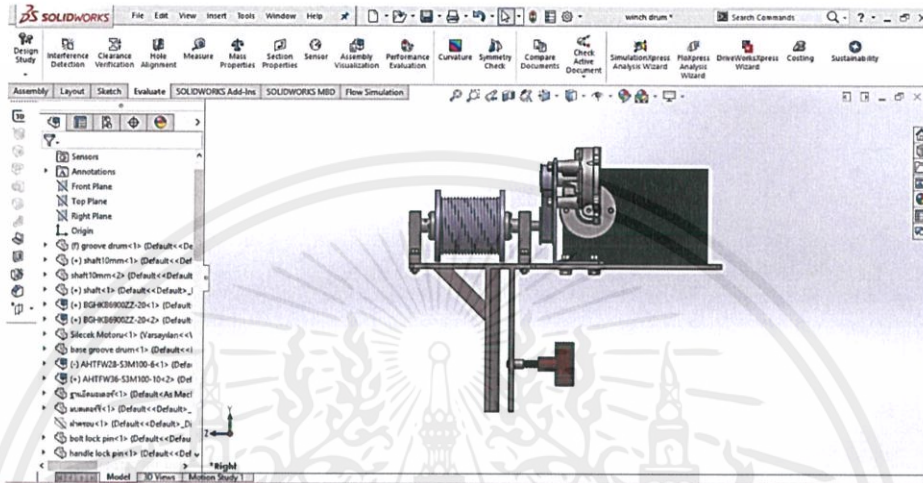


รูปที่ 4.6 แบบจำลองระบบส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.1.3 แบบจำลองฐานติดอุปกรณ์

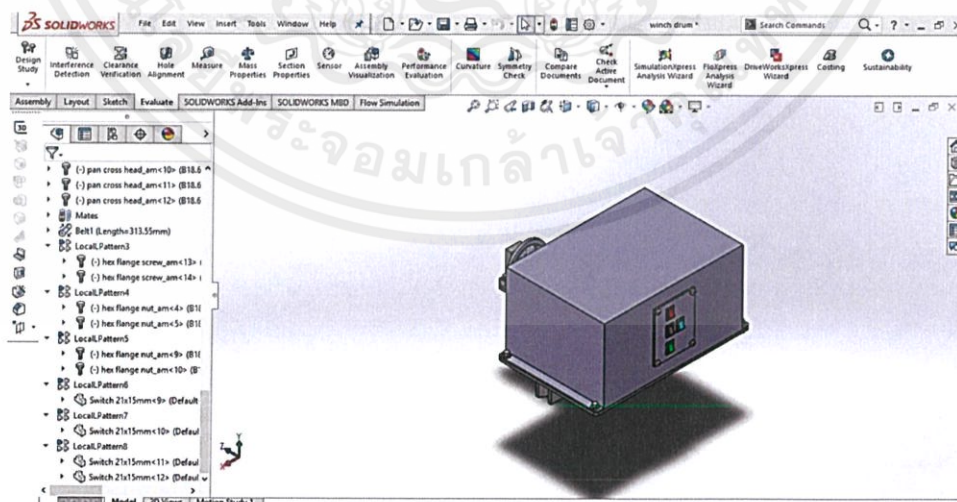
แบบจำลองฐานติดอุปกรณ์ทำหน้าที่ยึดอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันและทำหน้าที่เป็นฐานติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟเข้ากับเสาโคมไฟ โดยจะมีตัวล๊อคฐานช่วยให้เครื่องเปลี่ยนโคมไฟยึดติดกับเสาได้อย่างมั่นคงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แบบจำลองฐานติดอุปกรณ์

### 4.2.1.4 แบบจำลองฝาครอบและแผงสวิตช์ควบคุม

แบบจำลองฝาครอบและสวิตช์ควบคุม โดยฝาครอบจะทำหน้าที่ห่อหุ้มระบบส่งกำลังแบตเตอรี่ แผงวงจร และเป็นที่ยึดติดตั้งแผงสวิตช์ควบคุมเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานดังรูปที่ 4.8

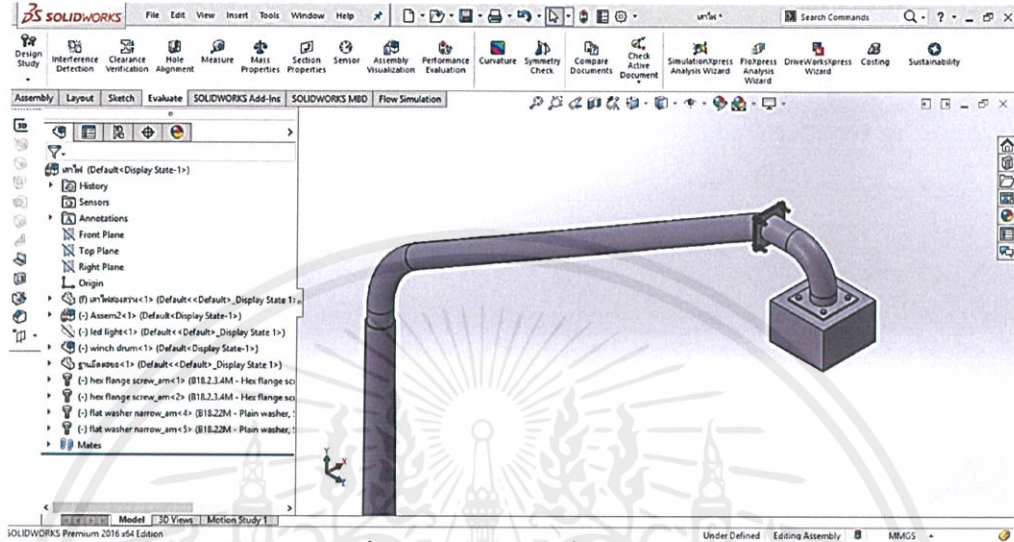


รูปที่ 4.8 แบบจำลองฝาครอบและแผงสวิตช์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2 แบบจำลองกึ่งโคมเสาไฟ

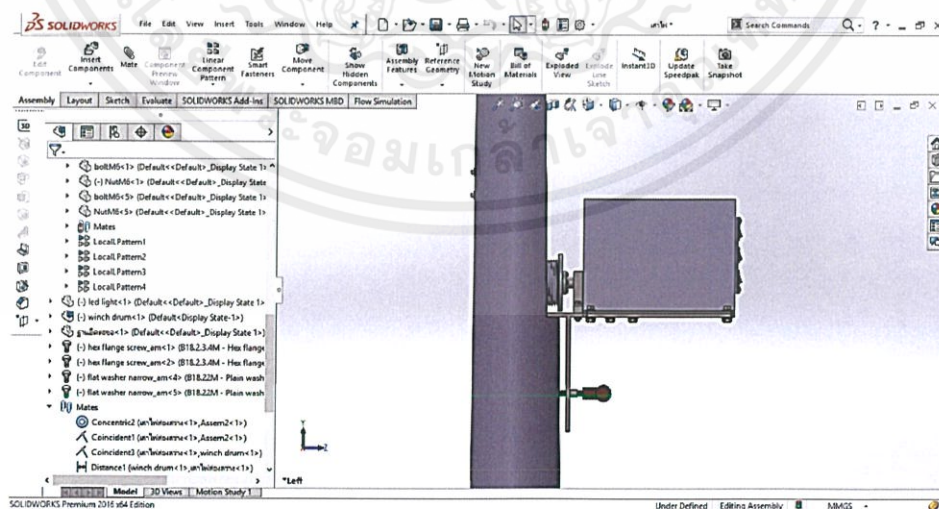
การจำลองชิ้นงานกึ่งโคมเสาไฟได้แก่ได้จากแบบที่มีอยู่ทั่วไปโดยเพิ่มส่วนปลายเสาให้มีข้อต่อรองรับกับโคมไฟประเภท High Bay เพื่อให้เหมาะสมกับแบบจำลองและหลักการออกแบบดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แบบจำลองกึ่งโคมเสาไฟ

## 4.2.3 แบบจำลองการติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ

การติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟเข้ากับเสาโคมไฟสามารถทำได้โดยนำเครื่องไปติดตั้งบริเวณช่องเปิดของเสาโคมไฟแล้วขันล็อกเครื่องเข้ากับเสาโคมไฟก่อนเริ่มขั้นตอนการเปลี่ยนหรือซ่อมบำรุงโคมไฟ ดังรูปที่ 4.10

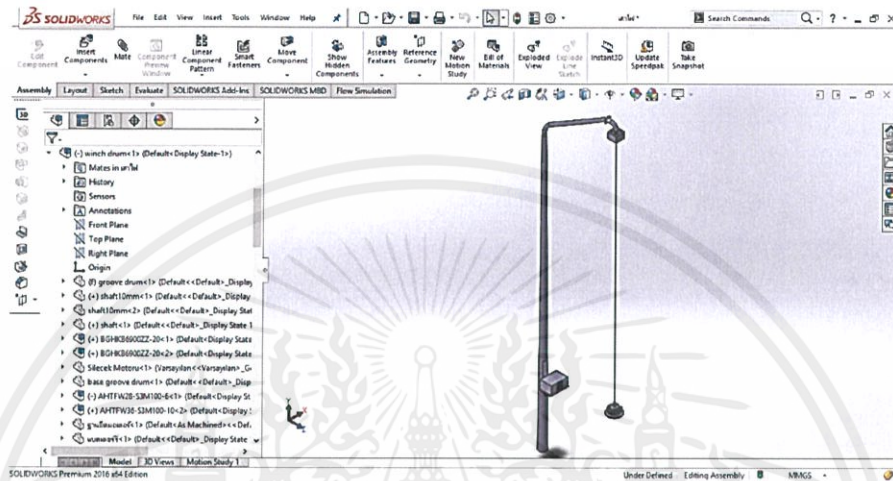


รูปที่ 4.10 แบบจำลองการติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟ

#### 4.2.4 แบบจำลองการทำงาน

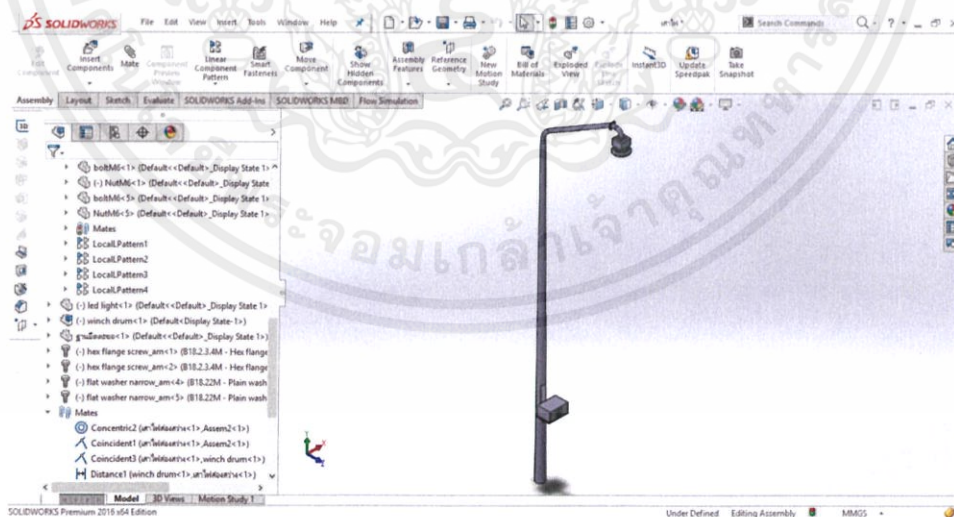
หลังจากทำการติดตั้งเครื่องเปลี่ยนโคมไฟเข้ากับเสาโคมไฟแล้ว ก็สามารถทำการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนโคมไฟได้ตั้งขั้นตอนการใช้เครื่องเปลี่ยนโคมไฟ

1. เริ่มจากผู้ใช้งานทำการกดปุ่ม Down ที่กล่องควบคุม มอเตอร์หมุนสลิงลงมาเพื่อนำโคมไฟลงมาทำการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนโคมไฟดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แบบจำลองการนำโคมไฟลงมาเพื่อซ่อมบำรุง

2. เมื่อซ่อมเสร็จแล้ว ผู้ใช้งานเพียงแคกดปุ่ม Return เท่านั้นมอเตอร์จะหมุนสลิงนำโคมไฟกลับไปตำแหน่งเดิมดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แบบจำลองการนำโคมไฟขึ้นไปติดตั้งด้านบนเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# บทวิจารณ์และสรุป

### 5.1 สรุปผล

จากแนวคิดเพื่อแก้ไขปัญหาในเรื่องการเปลี่ยนหลอดไปตามท้องถนนเราได้แบบจำลองอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟจากโปรแกรม Solidwork โดยที่อุปกรณ์ต่างๆภายในแบบจำลองได้ผ่านการคัดเลือกจากการคำนวณ และโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์จากโปรแกรม Arduino IDE เพื่อทำงานควบคู่กัน

### 5.2 ปัญหาที่พบเจอ

1. อุปกรณ์บางชนิดมีมาตรฐานเฉพาะตัวของผู้ผลิต ทำให้ยากต่อการพิจารณาเลือกใช้
2. ไม่สามารถใช้โคมไฟแบบเดิมที่มีโซ่อยู่ตามท้องถนน เนื่องจากข้อจำกัดในกระบวนการทำงานในขั้นตอนการเปลี่ยนหลอดไฟ
3. เสากิ่งโคมไฟถนนที่ติดกับเสาไฟฟ้าไม่สามารถใช้งานกับแบบจำลองนี้ได้

### 5.3 ผลที่คาดหวัง

1. สามารถเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาต่อในด้านการแก้ปัญหการเปลี่ยนหลอดไฟ
2. สามารถนำแบบจำลองไปสร้างเป็นอุปกรณ์จริงเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนหลอดไฟ
3. แบบจำลองที่ได้สามารถช่วยประหยัดเวลาและขั้นตอนในการซ่อมบำรุงหลอดไฟได้

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการทำการออกแบบอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟ นอกจากอุปกรณ์ในการออกแบบจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานแล้ว สภาพแวดล้อมบริเวณเสาไฟและสภาพอากาศในจุดนั้นก็ยังมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนหลอดไฟเช่นกัน สำหรับการนำไปใช้งานหรือในด้านการพัฒนาแบบจำลองควรคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Richard G. Lyons. (2553). **Understanding Digital Signal Processing (3rd Edition)**  
 Publisher by Prentice Hall; 3 edition (November 11, 2010)
- [2] Simon O. Haykin. (2556). **Adaptive Filter Theory (5th Edition)**  
 Publisher by Pearson; 5 edition (June 2, 2013)
- [3] Amanda Ghassaei. (2555). **Arduino Audio Input**. สืบค้นข้อมูลจาก  
<http://www.instructables.com/id/Arduino-Audio-Input/>
- [4] Amanda Ghassaei. (2555). **Arduino Audio Output**. สืบค้นข้อมูลจาก  
<http://www.instructables.com/id/Arduino-Audio-Output/>
- [5] Martin Nawrath. **Arduino Realtime Audio Processing**. สืบค้นข้อมูลจาก  
<http://interface.khm.de/index.php/lab/interfaces-advanced/arduino-realtime-audio-processing/>
- [6] AmirAslan Haghrah. (2559). **Least Mean Square Algorithm**. สืบค้นข้อมูลจาก  
<https://www.codeproject.com/Articles/1000084/Least-Mean-Square-Algorithm-using-Cplusplus>
- [7] maxtic maxtic (2558). **วิธีใช้งาน NRF24L01 โมดูลสื่อสารไร้สาย**. สืบค้นข้อมูลจาก  
<https://www.youtube.com/watch?v=VAp3lagUbSw>