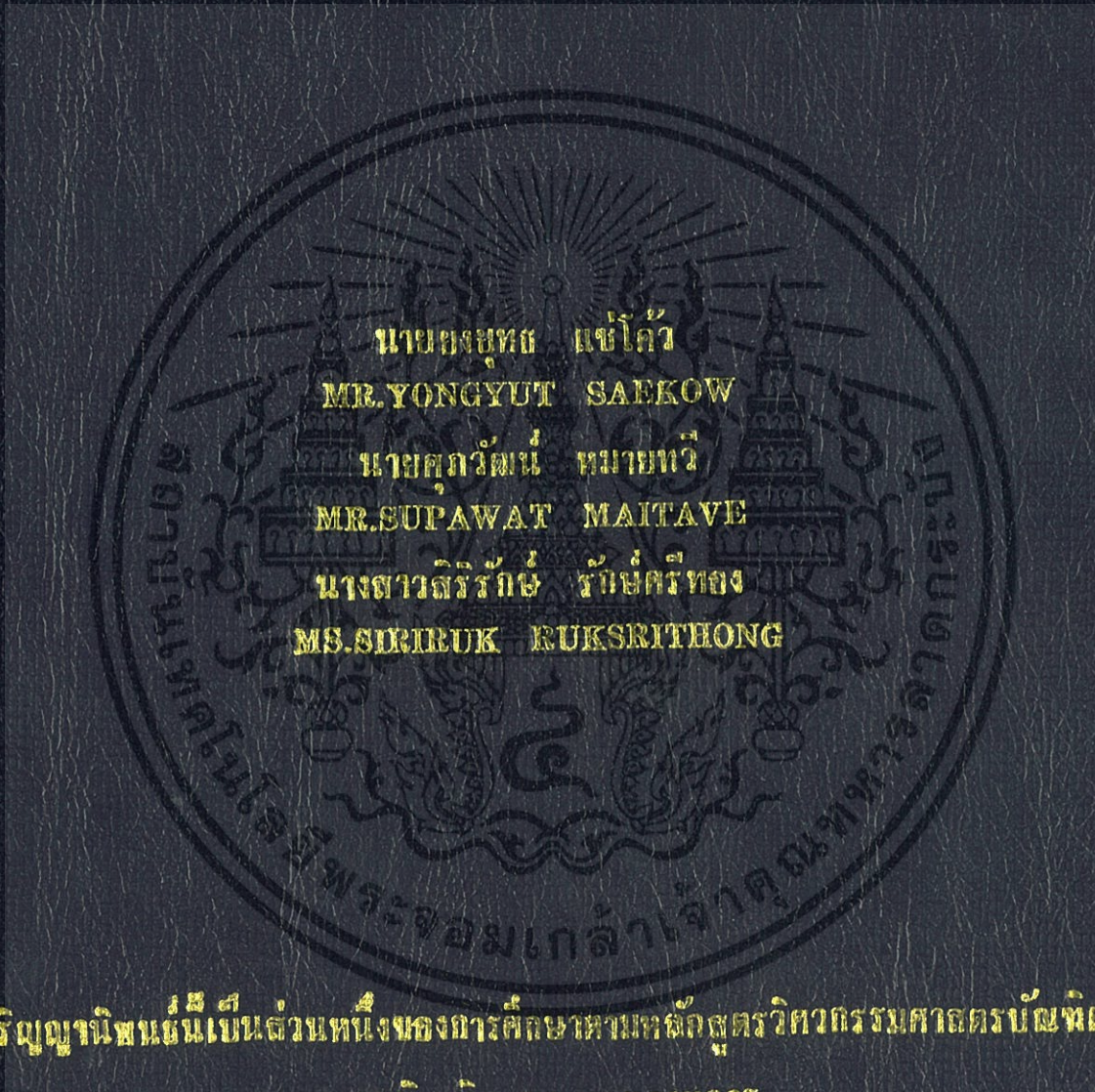


เครื่องขานยถของขานบันได

STAIR CLIMBING LIFT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหาหน้ลัษฐวิศวกรรมศาสตรบัณัฒ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได  
STAIR CLIMBING LIFT



T119353

นายยงยุทธ แซ่โค้ง

MR. YONGYUT SAEKOW

นายสุภาวัฒน์ หมายทวี

MR. SUPAWAT MAITAVE

นางสาวสิริรักษ์ รักษ์ศรีทอง

MS. SIRIRUK RUKSRITHONG

รพ.  
ฉ126ค  
2553

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....119353

รับเดือนปี.....7 S.A. 2554

b. 12315909  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได  
Stair Climbing Lift


นักศึกษา

นายชยยุทธ แซ่โล้ว	รหัสประจำตัว	50011242
นายศุภวัฒน์ หมาขี้	รหัสประจำตัว	50011600
นางสาวสิริรักษ์ รักศรีทอง	รหัสประจำตัว	50011686

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

  
(ผศ.ดร.สกนธ์ ชลต้องบุญจิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได		
นักศึกษา	นายชงยุทธ แซ่ไคว่	รหัสประจำตัว	50011242
	นายศุภวัฒน์ หมายทวี	รหัสประจำตัว	50011600
	นางสาวสิริรักษ์ รักษ์ศรีทอง	รหัสประจำตัว	50011686
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
	2553		
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.ศกนธ์ คล่องบุญจิต		

### บทคัดย่อ

โครงการปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดซึ่งสามารถเคลื่อนที่ด้วยล้อเลื่อนที่ติดกับ โครงเครื่องโดยใช้แรงงานคนเข็น โดยอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวส่งถ่ายกำลังงานในการยกโครงสร้างชั้นในที่มีส่วนรองรับของเชื่อมติดอยู่ โดยมีสกรูลูกกลิ้งเป็นตัวส่งผ่านกำลังงาน ซึ่งการใช้งานสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนได้ 2 ทิศทางเพื่อทำให้ โครงสร้างชั้นในสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งขึ้นและลง โดยการเคลื่อนที่ของโครงสร้างชั้นในจะอาศัยการเคลื่อนตัวของลูกกลิ้งภายในร่องของเหล็กรางพับเป็นส่วนที่ช่วยลดแรงเสียดทาน และยึดให้โครงสร้างชั้นในอยู่ระหว่างโครงสร้างชั้นนอกได้ เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดมีความสูง 1.40 เมตร กว้าง 0.61 เมตร และยึดตัวออกได้สูงสุด 0.70 เมตร โดยเครื่องสามารถยกวัตถุที่มีน้ำหนักได้สูงสุดไม่เกิน 70 กิโลกรัม

<b>Thesis Title</b>	Stair Climbing Lift
<b>Student</b>	Mr. Yongyut Saekow Mr. Supawat Maitave Ms. Siriruk Ruksrithong
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Academic Year</b>	2010
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Sakon Klongboonjit

### ABSTRACT

This project is to design and to build the stair climbing lift which is able to move by trolley wheels attached to the machine frame and manually operated. During operation, the direct current motor transmit power to lift the inner frame that joins with toeplate via ball screw. This motor can turn two directions that can control the inner frame moving up or down. The inner frame moves through the roller wheels inside the light lip channel to decrease friction force and hold inner frame to outer fame. The stair climbing lift is 1.40 meters in height, 0.61 meters in width and can extend out 0.70 meters. The stair climbing lift is able to lift objects with the maximum weight of 70 kilograms.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้ออกแบบและทดสอบขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องซึ่งส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผศ.ดร.สกันธ์ กล่องบุญจิต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้ออกแบบและทดสอบขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม กลุ่มผู้ออกแบบและทดสอบขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คำแนะนำ ความเอาใจใส่และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข กลุ่มผู้ออกแบบและทดสอบขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆด้านในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณสัณญา แสนบุตรกลุ่มผู้ออกแบบและทดสอบขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอบคุณเพื่อนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และคอยเป็นกำลังใจที่คิดตลอดมา

นายชงยุทธ แซ่โคว์  
นายสุภวัฒน์ หมายทวี  
นางสาวสิริรัชช์ รัชศรีทอง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ตารางการดำเนินงาน.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 รถเข็น.....	5
2.2 สกรูส่งกำลัง.....	5
2.2.1 คำจำกัดความ.....	8
2.2.2 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง.....	9
2.2.3 เกลียวในระบบหน่วยอังกฤษ.....	9
2.2.4 การออกแบบสกรูส่งกำลัง.....	10
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
2.3.1 การออกตัวของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	14
2.3.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	14
2.3.3 วิธีกลับทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	16
2.3.4 การออกแบบวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
2.3.5 ไดโอด.....	17
2.3.6 ทรานซิสเตอร์.....	18
2.3.7 ตัวต้านทาน.....	20
2.3.8 ตัวเก็บประจุ.....	26
2.3.9 รีเลย์.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.10 ลิ้มิตสวิทช์.....	33
2.4 แบตเตอรี่.....	34
2.4.1 ข้อควรระวังในการใช้งานแบตเตอรี่.....	34
2.5 ทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ.....	35
2.5.1 ความเค้น.....	35
2.5.2 ความเครียด.....	36
2.5.3 แรงเฉือนและโมเมนต์บิดในคาน.....	37
2.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่กระทำ แรงเฉือน และ โมเมนต์ค้ด.....	37
2.5.5 การวิเคราะห์ความเค้นในคาน.....	38
2.5.6 การ โกงของคาน.....	40
2.6 เสา.....	41
2.7 สลักเกลียว.....	43
2.7.1 แบบของเกลียว.....	43
2.7.2 สลักเกลียวและแป้นเกลียว.....	45
2.7.3 ความเค้นที่รอยต่อด้วยเกลียว.....	45
2.8 ล้อยางคั้น.....	47
2.8.1 ข้อดีของการใช้ล้อยางคั้นแบบล้อยกลม.....	47
2.8.2 ข้อเสียของล้อยางคั้นแบบล้อยกลม.....	47
2.9 การยศาสตร์.....	47
2.9.1 สรุปวิเคราะห์รูปแบบและขนาดสัดส่วนในการจับ.....	55
2.9.2 สัมผัสต่อการมองเห็นของสิ่งมีชีวิตและเพื่อกำหนดสีลงไปในกรอกแบบ.....	55
2.9.3 อิทธิพลของสีที่มีผลต่อความรู้สึกของมนุษย์.....	55
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	57

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	59
3.1.1 วัสดุที่ใช้สร้าง โครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	59
3.1.2 ความปลอดภัยในการใช้งาน.....	60
3.1.3 ชีดความสามารถของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	60
3.1.4 งบประมาณที่ใช้ในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	60
3.1.5 อายุการใช้งานของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.6 การเคลื่อนที่ของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	60
3.1.7 ระบบส่งถ่ายกำลัง.....	61
3.1.8 ระบบส่งผ่านกำลัง .....	61
3.2 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	62
3.3 วิธีการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	63
3.3.1 โครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได (โครงสร้างชั้นนอก, โครงสร้างชั้นใน, ที่รองรับวัสดุและที่จับ) .....	64
3.3.2 ชุดลูกกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทาน.....	66
3.3.3 ชุดล้อเลื่อน.....	67
3.3.4 ชุดค้ำกำลัง.....	67
3.3.5 ชุดส่งผ่านกำลัง.....	69
3.3.6 ชุดวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	70
3.3.7 ชุดวงจรเตือนไฟเบตเตอรี่ตกรขนาด 12 โวลต์.....	71
<b>บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ</b>	
4.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ.....	73
4.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ.....	73
4.3 สถานที่ทดสอบ.....	73
4.4 วิธีการทดสอบ.....	73
4.4.1 การเคลื่อนที่ขึ้นบันได.....	73
4.4.2 การเคลื่อนที่ลงบันได.....	74
4.5 ผลการทดสอบ.....	74
<b>บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน</b>	
5.1 สรุปผลการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	77
5.2 สรุปผลการทดสอบ.....	77
5.3 อุปสรรคและปัญหาในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	78
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	78
<b>หนังสืออ้างอิง .....</b>	<b>83</b>
<b>ภาคผนวก ก .....</b>	<b>ผก1</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

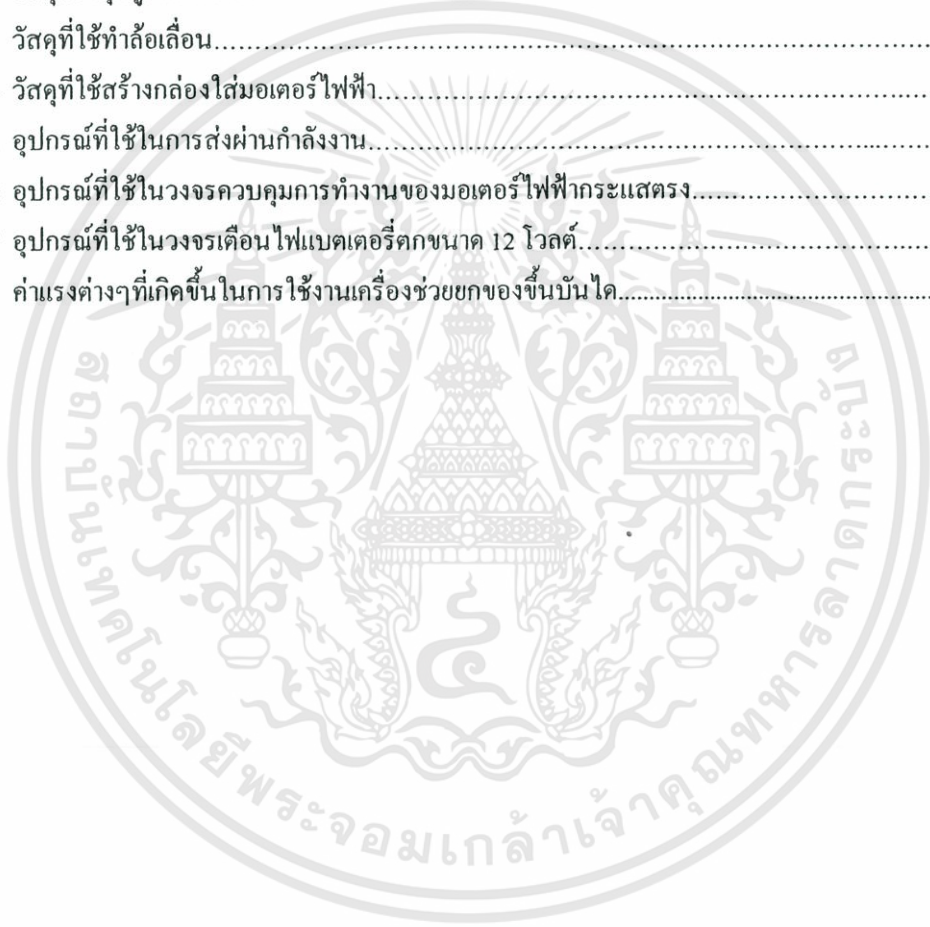
ภาคผนวก ข .....	ผข1
ภาคผนวก ค .....	ผค1
ภาคผนวก ง .....	ผง1
ภาคผนวก จ .....	ผจ1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 จำนวนผู้ประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยจากการทำงานเนื่องจากการยกเคลื่อนย้ายของหนัก และจากท่าทางการทำงาน ปี พ.ศ. 2545 – 2548 โดยจำแนกตามลักษณะการประสบอันตราย.....	1
ตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้สร้างโครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	64
ตารางที่ 3.2 วัสดุของชุดลูกล็อกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทาน.....	66
ตารางที่ 3.3 วัสดุที่ใช้ทำล้อเลื่อน.....	67
ตารางที่ 3.4 วัสดุที่ใช้สร้างกล่องใส่มอเตอร์ไฟฟ้า.....	67
ตารางที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งผ่านกำลังงาน.....	69
ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	72
ตารางที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเคียนไฟแบคเตอร์ีตขนาด 12 โวลต์.....	72
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงต่างๆที่เกิดขึ้นในการใช้งานเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	79



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แม่แรง.....	6
รูปที่ 2.2 สกรูเพรส.....	6
รูปที่ 2.3 สกรูเพรส.....	7
รูปที่ 2.4 ซีแคลมป์.....	7
รูปที่ 2.5 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู.....	8
รูปที่ 2.6 มุมหลัด.....	9
รูปที่ 2.7 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง.....	9
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง.....	12
รูปที่ 2.9 ฟันเกลียวรับแรงคล้ายกับคานอื่น.....	12
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
รูปที่ 2.11 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....	14
รูปที่ 2.12 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน.....	15
รูปที่ 2.13 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขอร์ทันท์คอมปาวด์.....	15
รูปที่ 2.14 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลวงจันท์ปาวด์มอเตอร์.....	16
รูปที่ 2.15 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์.....	16
รูปที่ 2.16 วงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
รูปที่ 2.17 (ก) ลักษณะของไดโอด (ข) สัญลักษณ์.....	17
รูปที่ 2.18 ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN.....	19
รูปที่ 2.19 ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP.....	19
รูปที่ 2.20 ตัวต้านทานชนิดคงที่.....	20
รูปที่ 2.21 ตัวต้านทานชนิดเลือกค่าได้.....	21
รูปที่ 2.22 ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้.....	21
รูปที่ 2.23 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนแปลค่าได้.....	22
รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ของฟิวส์ชิสเตอร์.....	22
รูปที่ 2.25 เทอร์มิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ.....	23
รูปที่ 2.26 ตัวต้านทานพลังงานแสง (LDR) .....	24
รูปที่ 2.27 แถบสีของความต้านทาน.....	25
รูปที่ 2.28 การอ่านรหัสสีบนตัวต้านทาน.....	25
รูปที่ 2.29 พื้นฐานโครงสร้างของตัวเก็บประจุ.....	26
รูปที่ 2.30 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่.....	27
รูปที่ 2.31 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.32 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้.....	28
รูปที่ 2.33 สัญลักษณ์รีเลย์.....	29
รูปที่ 2.34 รูปร่างและสัญลักษณ์ของรีเลย์.....	30
รูปที่ 2.35 ส่วนประกอบภายในของรีเลย์.....	30
รูปที่ 2.36 แสดงคอยล์รีเลย์ในแบบต่างๆ.....	32
รูปที่ 2.37 การตรวจสอบรีเลย์โดยใช้เร็นจิวัดความต้านทาน.....	33
รูปที่ 2.38 ลิมิตสวิตช์.....	33
รูปที่ 2.39 กลไกการทำงานของลิมิตสวิตช์.....	34
รูปที่ 2.40 แรงชนิดต่างๆ.....	35
รูปที่ 2.41 ชนิดของคานซึ่งใช้สถิตยศาสตร์แก้ปัญหาค่าได้.....	37
รูปที่ 2.42 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่กระทำ แรงเฉือน และ โมเมนต์คด.....	38
รูปที่ 2.43 การ โกงของคาน.....	40
รูปที่ 2.44 ตัวอย่างการคำนวณการ โกงของคานด้วยวิธีซ้อนทับ.....	41
รูปที่ 2.45 การบีบคลายเสาด้วยวิธีต่างๆ.....	42
รูปที่ 2.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอัตราส่วนความเพริยว จากสูตรของออยเลอร์และจอห์นสัน.....	43
รูปที่ 2.47 แบบรากฐานของเกลียว.....	44
รูปที่ 2.48 สลักเกลียวและแป้นเกลียว.....	45
รูปที่ 2.49 รอยต่อด้วยสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงเฉือน.....	45
รูปที่ 2.50 วิธีการลดแรงเฉือนที่กระทำกับสลักเกลียว.....	46
รูปที่ 2.51 ความสามารถในการงอข้อมือและความสามารถในการงอข้อนิ้ว.....	47
รูปที่ 2.52 ภาพและข้อมูลตัวเลขการวัดขนาดสัดส่วนมือของเพศชาย เพศหญิง และเด็ก.....	48
รูปที่ 2.53 การเคลื่อนไหวศีรษะและลำตัวของมนุษย์ในลักษณะต่างๆ.....	49
รูปที่ 2.54 ขนาดสัดส่วนทำขึ้นด้านหน้าของผู้ใหญ่เพศชายทั่วไป.....	50
รูปที่ 2.55 ขนาดสัดส่วนทำขึ้นด้านข้างของผู้ใหญ่เพศชายทั่วไป.....	51
รูปที่ 2.56 ขนาดสัดส่วนทำขึ้นด้านหน้าของผู้ใหญ่เพศหญิงทั่วไป.....	52
รูปที่ 2.57 ขนาดสัดส่วนทำขึ้นด้านข้างของผู้ใหญ่เพศหญิงทั่วไป.....	53
รูปที่ 2.58 ภาพและข้อมูลตัวเลขพื้นฐานเกี่ยวกับสายตามนุษย์.....	54
รูปที่ 3.1 เหล็กกล้าคาร์บอน St 37 ที่ใช้ในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	59
รูปที่ 3.2 ลูกล้อมีเบรคที่ทำจากโพลียูรีเทนแกนกลางทำจากเหล็ก.....	61
รูปที่ 3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	61
รูปที่ 3.4 สกรูลูกกลิ้ง.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนการออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	62
รูปที่ 3.6 เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	63
รูปที่ 3.7 (a) โครงสร้างภายในของเครื่อง (b) โครงสร้างภายนอกของเครื่อง.....	64
รูปที่ 3.8 ชุดลูกกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทาน.....	66
รูปที่ 3.9 ล้อเลื่อนของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	67
รูปที่ 3.10 ชุดสกรูลูกกลิ้ง.....	69
รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	70
รูปที่ 3.12 วงจรเตือนไฟแบตเตอรี่ตกขนาด 12 โวลต์.....	71
รูปที่ 4.1 การทดสอบความสามารถในการยึดตัวของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	75
รูปที่ 4.2 การทำงานของเครื่องในการขึ้นบันได.....	76
รูปที่ 4.3 การทดสอบเครื่องเพื่อหาขีดความสามารถของเครื่อง.....	76
รูปที่ 4.4 ตู้เหล็กที่ใช้บรรจุเหล็กสำหรับทดสอบเครื่องน้ำหนัก 46.80 กิโลกรัม.....	77
รูปที่ 4.5 เหล็กแผ่นที่ใช้ในการทดสอบเครื่องน้ำหนัก 25 กิโลกรัม.....	77
รูปที่ 4.6 การจัดวางเหล็กแผ่นลงไปในตัวเหล็ก.....	77
รูปที่ 4.7 การทดสอบเครื่องในการยกวัตถุ น้ำหนัก 70 กิโลกรัม ขึ้นบันได.....	78
รูปที่ 4.8 แรงที่เกิดขึ้นในการใช้งานเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได.....	79
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแรงต่อมวลของวัตถุและมวลของวัตถุ ตั้งแต่ 30 กิโลกรัมถึง 70 กิโลกรัม.....	80

# บทที่ 1

## บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ วิธีการดำเนินการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และแผนภูมิกิจกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1.1 ความสำคัญของโครงการ

ในอดีตปัญหาที่พบในครัวเรือน สำนักงาน หรือโรงงานที่คนส่วนใหญ่เลี่ยงไม่ได้ คือการเคลื่อนย้ายสิ่งของที่ มีน้ำหนักมากต่างระดับชั้น โดยไม่มีเครื่องมือช่วยในการผ่อนแรง ซึ่งจะส่งผลให้เสียเวลาในการทำงาน และยังส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บเนื่องจากใช้ท่าทางในการทำงานที่ไม่ถูกต้องตามหลักกายศาสตร์ ในบางครั้งอาการดังกล่าวอาจยังคง อยู่ในระยะยาว ซึ่งจะส่งผลเสียต่อการใช้ชีวิตประจำวัน

จากข้อมูลสถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานในประเทศไทย ของสำนักงานกองทุน เงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงานระหว่างปี พ.ศ. 2545 – 2548 พบว่าค่าเฉลี่ยผู้ได้รับอันตรายจากการยกเคลื่อนย้ายของหนักมีมากกว่าผู้ได้รับอันตรายจากท่าทางการทำงาน อันตรายหรืออุบัติเหตุจากการเคลื่อนย้ายของหนักนั้นอาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายที่ไม่ถูกวิธีหรือเป็นเพราะไม่มีเครื่องมือช่วยอำนวยความสะดวกในประเทศไทย มากนักในการขนย้ายซึ่งจะพบว่าตัวเลขของผู้ได้รับอันตรายค่อนข้างสูงเฉลี่ย 4,919.25 คนต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 จำนวนผู้ประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยจากการทำงานเนื่องจากการยกเคลื่อนย้ายของหนัก และจากท่าทางการทำงาน ปี พ.ศ. 2545 – 2548 โดยจำแนกตามลักษณะการประสบอันตราย

ปี	การยกเคลื่อนย้ายของหนัก (ราย)	ท่าทางการทำงาน (ราย)
2545	5,674	1,093
2546	5,009	930
2547	4,425	809
2548	4,569	893
รวม	19,677	3,725
เฉลี่ยต่อปี	4,919.25	931.25

ที่มา : สำนักงานกองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันนี้นับว่ามีนวัตกรรมใหม่เกิดขึ้นมากมายที่ช่วยให้การทำงานของมนุษย์มีความสะดวกมากขึ้น รวมทั้งได้มีการคิดค้นและผลิตเครื่องมือที่ช่วยในการยกสิ่งของขึ้นและลงบันไดด้วย สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตเครื่องมือในลักษณะนี้ที่สมบูรณ์และแพร่หลายมากนัก บางหน่วยงานที่ต้องการเคลื่อนย้ายสิ่งของขึ้นหรือลงบันไดจึงต้องจ้างคนงานยกเคลื่อนย้ายสิ่งของในลักษณะเดิม หรือถ้าหน่วยงานนั้นต้องการเครื่องมือที่ช่วยยกของขึ้นบันไดอาจต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศทำให้มีค่าใช้จ่ายในเรื่องต้นทุนสูง

เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดทำให้ระบบการทำงานมีความสะดวกคล่องตัว ช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงานลง และสามารถลดปัญหาเรื่องการบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุจากการขนย้ายสิ่งของระหว่างชั้นได้ ดังนั้นถ้ามีการนำเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดมาใช้งานน่าจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้ามีการศึกษา ออกแบบ และสร้างเป็นอย่างดี เพราะเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจะช่วยผ่อนแรงของผู้ใช้งานโดยมีกลไกที่รักษาสมดุลเสถียรภาพ ให้การทำงานของเครื่องไม่เกิดผลเสียต่อร่างกาย โดยจะต้องใช้หลักการทางกายศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ซึ่งข้อดีเหล่านี้จะช่วยลดปัญหาด้านอุบัติเหตุและการบาดเจ็บลงได้อย่างมาก

เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดนี้นับเป็นนวัตกรรมที่ค่อนข้างแปลกใหม่ในประเทศไทย ถ้ามีการผลิตขึ้นได้จริงในประเทศจะช่วยลดต้นทุนในการนำเข้า และหากการออกแบบนั้นสามารถรับน้ำหนักได้มาก จะเป็นผลดีต่อผู้ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมและครัวเรือน เนื่องจากสามารถใช้งานได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านสถานที่และคุณสมบัติในเรื่องการใช้งาน โดยใช้ระบบมอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนปราศจากการใช้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ ดังนั้นประโยชน์ที่ได้นอกจากจะประหยัดเวลาในการทำงาน ลดการบาดเจ็บและอุบัติเหตุลงแล้ว ยังไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และการเคลื่อนย้ายวัตถุตามหลักการยศาสตร์ และออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดให้สามารถผ่อนแรงและลดความเสี่ยงการเกิดอาการบาดเจ็บจากการยกหรือเคลื่อนย้ายวัตถุ
2. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของรถฟอร์กลิฟท์เพื่อนำความรู้ที่ได้มาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได
3. เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างชุดช่วยยกของขึ้นบันไดตามหลักการของกลศาสตร์วิศวกรรมและหลักการการออกแบบวงจรควบคุมทางไฟฟ้า

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจากเหล็กกล่อง Ss 37
2. ในการศึกษาจะออกแบบให้เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 70 กิโลกรัม
3. ศึกษาและสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่สามารถยึดตัวออกได้สูงสุด 0.7 เมตร
4. เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถควบคุมการใช้งานของเครื่องโดยผู้ใช้งานเพียงคนเดียว
5. เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจะมีความสูง 1.40 เมตร
6. วัสดุที่ยกเครื่องย้ายควรมีความกว้าง x ความยาว x ความสูงไม่เกิน 45 x 60 x 140 เซนติเมตร

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่สร้างขึ้นไปใช้ในงานขนย้ายได้จริง เพื่อช่วยลดการบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุ อันเนื่องมาจากการเคลื่อนย้ายหรือการทำงานที่ไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์
2. สามารถนำเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่สร้างขึ้นไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด
3. สามารถนำเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่สร้างขึ้นเป็นต้นแบบในการผลิตใช้เองในประเทศเพื่อลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดยังไม่มีการผลิตใช้ในประเทศ





## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได ทำงานโดยอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวส่งถ่ายกำลัง ไปยังสกรูส่งกำลัง (Power Screws) ในการยกโครงสร้างชั้นในขึ้น โดยสิ่งของหรือวัตถุที่ต้องการยกขึ้นบันไดจะถูกนำมาวางในส่วนรองรับที่ติดอยู่กับโครงสร้างชั้นใน คิวกลไกดังกล่าวทำให้สามารถยกสิ่งของหรือวัตถุที่ต้องการขึ้นหรือลงบันไดได้ โดยอาศัยการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยผู้ใช้งานเพียงคนเดียว

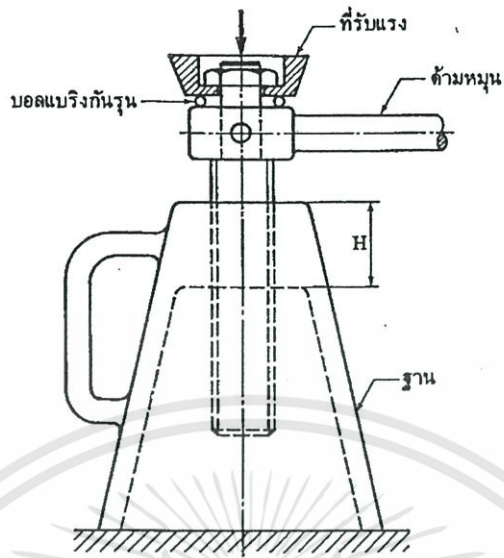
#### 2.1 รถเข็น (Handtrucks) [7]

เป็นเครื่องช่วยผ่อนแรงที่นิยมใช้กันทั่วไป เพราะสามารถช่วยผ่อนแรงมนุษย์ได้ดีและประหยัดกว่าการใช้เครื่องจักรกลชนิดอื่น รถเข็นโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ

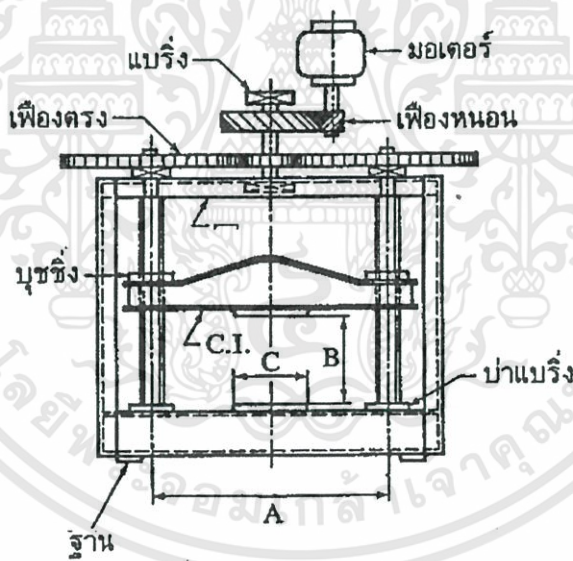
1. ชนิด 2 ล้อ (Two Wheel Handtruck)
2. ชนิด 4 ล้อ (Four Wheel Handtruck)

#### 2.2 สกรูส่งกำลัง (Power Screws) [10]

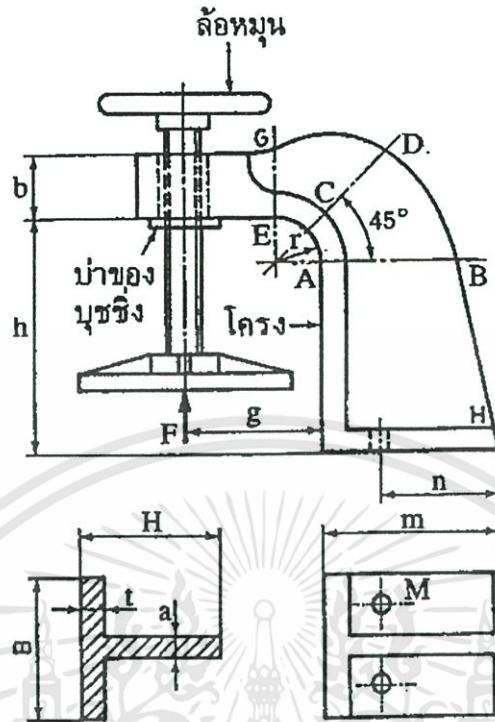
สกรูส่งกำลัง (Power Screws) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในเครื่องจักรกลเพื่อเปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อน ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สกรูเลื่อน (Translation Screws) นอกจากจะใช้เปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อนแล้ว สกรูส่งกำลังยังใช้ในการยกน้ำหนักที่ตัวสกรูรับอยู่อีกด้วย ตัวอย่างของสกรูส่งกำลังที่ใช้ในเครื่องจักรต่างๆ ได้แก่ แม่แรง (Screw Jack) สำหรับยกน้ำหนักดังรูปที่ 2.1 สกรูเพรส (Screw Press) สำหรับใช้กดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามต้องการ ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 แม่แรง



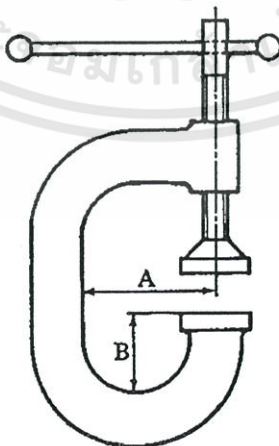
รูปที่ 2.2 สกรูเพรส



หน้าตัด A-B

รูปที่ 2.3 สกรูเพรส

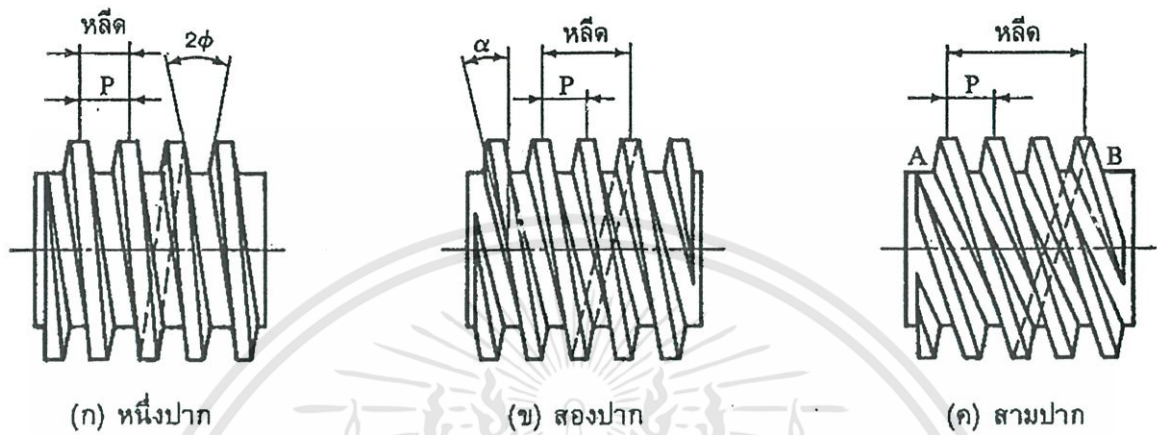
รูปที่ 2.4 แสดงซีแคลมป์ (C-Clamp) สำหรับจับยึดชิ้นงานและสกรูพา (Lead Screw) สำหรับเครื่องกลึง เป็นต้น จากตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า การออกแบบหรือเลือกขนาดของสกรูส่งกำลังจะต้องคิดถึงความแข็งแรงของตัวสกรูที่จะรับแรงกดหรือแรงดึง ความสามารถในการรับแรงเฉือนของตัวสกรู ความแข็งแรงและการสึกหรอของเกลียว ตลอดจนกำลังงานที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 ซีแคลมป์

### 2.2.1 คำจำกัดความ

ก่อนที่จะกล่าวถึงชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง จำเป็นจะต้องทำความเข้าใจกับคำจำกัดความบางคำซึ่งจะต้องใช้อยู่เสมอ โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.5 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู

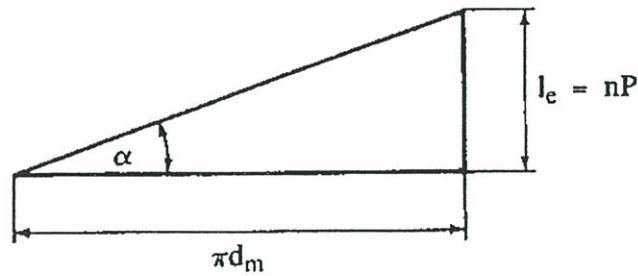
ระยะพิทช์ ;  $P$  หมายถึงระยะทางที่วัดตามแนวแกนของสกรูจากจุดหนึ่งบนเกลียวหนึ่งไปยังจุดเดียวกันของแกนที่อยู่ถัดไป

หลิศ (Lead) ;  $l_c$  คือระยะทางที่สกรูเคลื่อนที่ได้ตามแนวแกนของสกรู ในขณะที่สกรูหมุนไปหนึ่งรอบ ถ้าเป็นสกรูหนึ่งปาก (Single Thread) ระยะของหลิศมีค่าเท่ากับระยะพิทช์ สำหรับสกรูสองปาก (Double Thread) เกลียวจะมีปากคาบระหว่างเกลียวสองเกลียว ดังรูปที่ 2.5 (ข) ดังนั้นเมื่อสกรูหมุนไปหนึ่งรอบ การเคลื่อนที่ในแนวแกนของสกรูจึงเป็นสองเท่าของระยะพิทช์ ในทำนองเดียวกันสำหรับสกรูสามปาก (Triple Thread) หลิศจะมีค่าเป็นสามเท่าของระยะพิทช์ ถ้าสกรูเป็นแบบ  $n$  ปาก ระยะของหลิศ คือ

$$l_c = nP \quad (2.1)$$

มุมฮิลิกซ์หรือมุมหลิศ (Helix or Lead Angle) ;  $\alpha$  หมายถึงมุมระหว่างระนาบที่สัมผัสกับความเอียงของเกลียวและระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของสกรู ถ้าให้  $d_m$  เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู และนำส่วนที่สกรูเคลื่อนที่ไปขณะที่หมุนหนึ่งรอบมาตัดออกก็จะได้ลักษณะดังรูปที่ 2.6 และมุมหลิศ คือ

$$\tan \alpha = \frac{l_c}{\pi d_m} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.6 มุมหลิศ

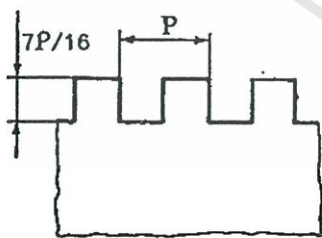
เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของสกรู ซึ่งนับรวมถึงความสูงของเกลียวด้วย ขนาดระบุ (Nominal Size) ของสกรูส่งกำลังจะบอกโดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เสมอ  
เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของสกรู

### 2.2.2 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง

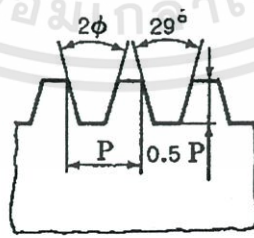
สกรูส่งกำลังที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนมากจะมีขนาดตามระบบหน่วยอังกฤษ ส่วนเครื่องจักรที่จะผลิตออกมาในอนาคตจะค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปใช้ระบบหน่วยเอสไอ ซึ่งสำหรับสกรูส่งกำลังแล้ว รูปร่างและขนาดของเกลียวจะเป็นไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ในที่นี้จะกล่าวถึงเกลียวที่มีใช้กันมากในระบบหน่วยอังกฤษและเกลียวที่มีอยู่ตามมาตรฐานระหว่างประเทศเท่านั้น

### 2.2.3 เกลียวในระบบหน่วยอังกฤษ

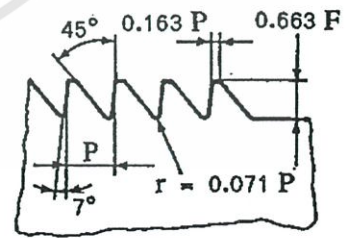
เกลียวสี่เหลี่ยม (Square Tread) เป็นเกลียวชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในจำพวกเกลียวของสกรูส่งกำลัง ซึ่งเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่าเกลียวเซลเลอร์ (Sellers Thread) โดยมีลักษณะของเกลียวดังรูปที่ 2.7 (ก) แต่เนื่องจากการตัดเกลียวสี่เหลี่ยมนี้ทำได้ยากและค่าใช้จ่ายสูงจึงมีการนำมาใช้งานน้อยลง ดังนั้นเกลียวชนิดนี้จึงมิได้มีการทำเป็นมาตรฐานทั่วไป ตาราง ข.1 แสดงขนาดของสกรูส่งกำลังแบบเกลียวสี่เหลี่ยม ซึ่งอาจนำมาประกอบกับการเลือกใช้ได้



(ก) เกลียวสี่เหลี่ยม



(ข) เกลียวแอดมิ



(ค) เกลียวบัดเตรส

รูปที่ 2.7 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง

เกลียวแอกมี (Acme Thread) หรือเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นเกลียวชนิดที่มีการใช้งานมาเป็นเวลานานที่สุด รูปร่างของเกลียวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีมุมของเกลียว (Thread Angle)  $2\Phi$  เท่ากับ 29 องศา ดังในรูปที่ 2.7 (ข) เนื่องจากตัดเกลียวได้ง่ายจึงมีการนำมาใช้งานเรื่อยมา มาตรฐานของเกลียวชนิดนี้แสดงอยู่ในตารางที่ตาราง ข.1 และตารางที่ ตาราง ข.2 ประสิทธิภาพของเกลียวชนิดนี้จะน้อยกว่าเกลียวสี่เหลี่ยม ถ้าเกิดความรู้สึกหรือหลังจากใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งก็สามารถที่จะปรับให้เกลียวของสกรูกับเกลียวตัวเมียสนิทได้เหมือนเดิม โดยการขันเกลียวตัวเมียซึ่งเป็นแบบ Split Nut เข้าไปให้กระชับกับเกลียวของตัวสกรูได้

เกลียวบัตเตอร์ส (Buttress Thread) เป็นเกลียวที่มีรูปร่างเป็นฟันเลื่อย จุดมุ่งหมายก็เพื่อที่จะใช้รับแรงในทิศทางเดียว เกลียวชนิดนี้มีความแข็งแรงมากกว่าเกลียวสองชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว เนื่องจากเกลียวชนิดนี้มีใช้งานไม่มากนัก ดังนั้นจึงไม่ได้มีการกำหนดขนาดเป็นมาตรฐาน ค่าในตารางที่ ตาราง ข.1 เป็นเพียงค่าที่แนะนำให้ทดลองใช้เท่านั้น

### 2.2.4 การออกแบบสกรูส่งกำลัง

การคำนวณหาความเค้นในส่วนต่างๆของสกรูส่งกำลังโดยใช้สมการเบื้องต้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เป็นการประมาณค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การขบขันระหว่างเกลียวของสกรูและแป้นเกลียว ตลอดจนการกระจายของแรงบนเกลียวว่าจะเข้าใกล้กับสภาพที่ได้สมมติเอาไว้เพียงใด เกลียวที่อยู่ใกล้กับน้ำหนักอาจจะรับแรงมากกว่าเกลียวที่อยู่ห่างออกไป ความหลวมระหว่างสกรูและแป้นเกลียวอาจทำให้แรงกระจายไม่สม่ำเสมอ หรือการโค้งของเกลียวอาจทำให้เกลียวบางเกลียวรับแรงมากเกินไป เป็นต้น แต่สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม่อาจทราบได้อย่างแน่นอน ดังนั้นการคำนวณความเค้นในสกรูควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆต่อไปนี้

1. ความเค้นวิกฤติ (Critical or Bucking Stress) ในการคำนวณหาขนาดของสกรูที่รับแรงกดแต่เพียงอย่างเดียว ถ้าเป็นสกรูต้นก็สามารถใช้สมการของความเค้นกด

$$\sigma_c = \frac{W}{A_r} \quad (2.3)$$

เนื่องจากฟันเกลียวก็จะช่วยรับแรงนี้ด้วย ดังนั้นพื้นที่รับแรง  $A_r$  ก็ควรจะมีความใหญ่กว่าพื้นที่ซึ่งคิดที่เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย โดยอาจจะประมาณได้ว่าควรจะเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยและเส้นผ่านศูนย์กลางพิชซ์ เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงใช้พื้นที่ของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย

คำว่าสกรูต้นในที่นี้หมายถึง สกรูซึ่งมีอัตราส่วนความเพียว  $L_e / k < 40$  ถ้าหากสกรูมีอัตราส่วนความเพียวมากกว่านี้ สกรูอาจจะเกิดการโก่งงอขึ้นได้ก่อนก่อนที่ความเค้นจะถึงค่าที่กำหนดเอาไว้ก็ได้ ในกรณีเช่นนี้การออกแบบสกรูต้องใช้สูตรของเสาแทนสมการข้างต้น สำหรับสกรูที่มีความยาวปานกลางให้ใช้สูตรของจอห์นสัน

$$W = \frac{A_r \sigma_y}{N} \left[ 1 - \frac{\sigma_y (L_e / k)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad 40 < \frac{L_e}{k} < 110 \quad (2.4)$$

สำหรับสกรูยาวให้ใช้สูตรของออยเลอร์

$$W = \frac{\pi^2 EI}{NL_e^2} \quad \frac{L_e}{k} > 110 \quad (2.5)$$

ถ้าวัสดุที่ใช้ทำตัวสกรูไม่ใช่เหล็กกล้า ค่าของความเพียวที่แบ่งระหว่างการใช้สูตรของออยเลอร์และจอห์นสันจะคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{L_e}{k} = \left[ \frac{2\pi^2 E}{\sigma_y} \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

2. ความเค้นผสม ถ้าสกรูยาวไม่มากนักก็จะไม่เกิดการโก่งงอขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงกดหรือในบางกรณีสกรูต่างกำลังอาจจะใช้รับแรงดึงก็ได้ นอกจากนี้แล้วยังมีความเค้นเฉือนอันเนื่องมาจากการบิดของสกรูอีกด้วย การคำนวณในกรณีเช่นนี้ต้องใช้ความเค้นผสม ซึ่งมีหลายทฤษฎี สำหรับแต่ทฤษฎีที่ปลอดภัยและใช้ง่ายก็คือ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ซึ่งมีสมการเป็น

$$\tau_d = \left[ \left[ \frac{\sigma}{2} \right]^2 + \tau^2 \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

โดยที่  $\tau_d$  เป็นค่าความเค้นเฉือนใช้งานและ

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{16T}{\pi d_r^3} \quad (2.8)$$

โดยที่  $d_r$  คือเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย

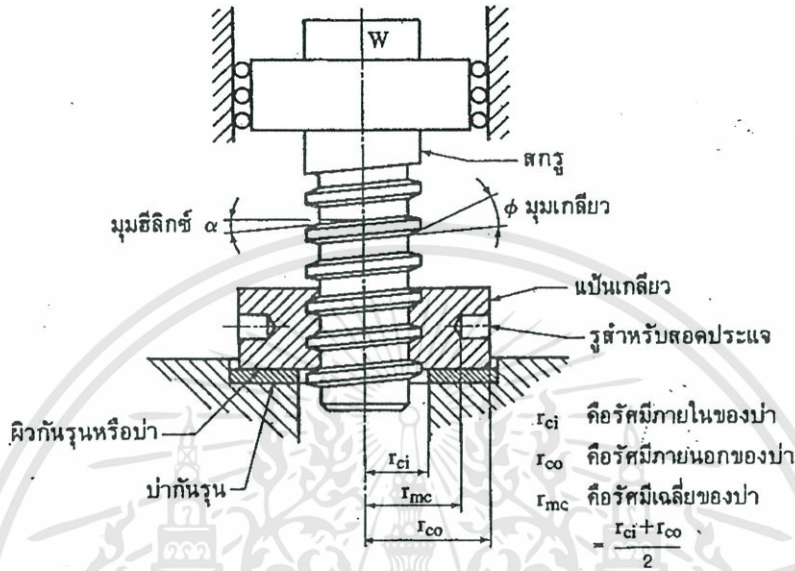
ในการใช้ทฤษฎีนี้กับตัวสกรูจะใช้  $\tau_y = 0.6\sigma_y$  แทนที่จะใช้  $\tau_y = 0.5\sigma_y$  ทั้งนี้เป็นเพราะเกลียวของสกรูช่วยในการรับแรงด้วย แต่ไม่ได้นำมาคิดในการหาความเค้นในตัวสกรู

3. ความเค้นอัด ความเค้นอัดในที่นี้หมายถึงความเค้นที่เกิดจากการที่ผิวหน้าของฟันเกลียวของตัวสกรูอัดกับผิวหน้าของฟันเกลียวของแป้นเกลียวหรือส่วนที่เป็นเกลียวตัวเมีย ดังรูปที่ 2.8 ในการคำนวณหาความเค้นอัดนี้ให้ใช้พื้นที่ภาพฉายของเกลียวส่วนที่อัดกันอยู่ ถ้าจำนวนเกลียวดังกล่าวนี้เท่ากับ  $n$  เกลียว พื้นที่นี้คือ

$$A = \frac{\pi}{4} [d^2 - d_r^2] n \quad (2.9)$$

ดังนั้นความเค้นอัด

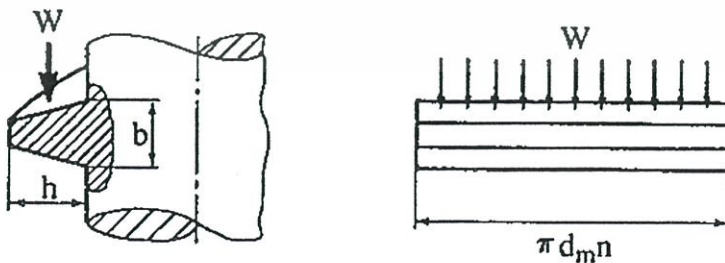
$$\sigma_c = \frac{4W}{\pi[d^2 - d_r^2]n} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง

4. ความเค้นเฉือนในพินเกลียว นอกจากความเค้นต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว ในพินเกลียวยังเกิดความเค้นดัด และความเค้นเฉือนที่โคนพินเกลียวอีกด้วย ดังรูปที่ 2.9 เนื่องจากความสูงของพินเกลียวมีค่าน้อย ดังนั้นโมเมนต์ดัดที่โคนพินเกลียวจึงมีค่าน้อยด้วย ฉะนั้นเกลียวส่วนมากจึงทนต่อความเค้นดัดได้ ส่วนความเค้นเฉือนอาจจะมีความมาก จากทฤษฎีกลศาสตร์วัสดุ ความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับ

$$\tau = \frac{3W}{2A} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.9 พินเกลียวรับแรงคล้ายกับคานยื่น

ให้  $b$  เป็นความหนาของโคนพื้นเกลียว ดังนั้นพื้นที่รับแรงเฉือน

$$A = \pi d_r b n \quad (2.12)$$

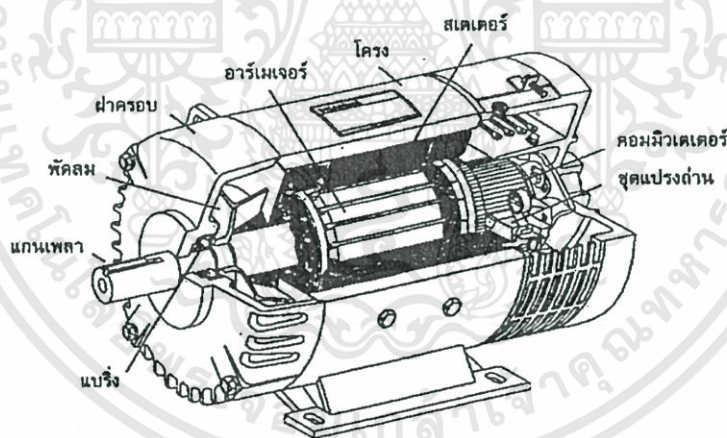
เพราะฉะนั้น

$$\tau_d = \frac{3W}{2\pi d_r b n} \quad (2.13)$$

ค่า  $d_r$  นี้ต้องเลือกใช้ที่โคนพื้นเกลียวของสกรูหรือเป็นเกลียว แล้วแต่จะตรวจสอบที่ไหน

### 2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

ในงานอุตสาหกรรมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับยังคงเป็นเครื่องจักรต้นกำลังที่มีความสำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการขับเคลื่อนในรูปแบบต่างๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถให้แรงบิดออกตัว (Starting Torque) ที่สูง และนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราเร็วในย่านที่กว้างอีกด้วย วิธีการควบคุมอัตราเร็วสามารถทำได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำกว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 2.10 [5]



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

$$E = K_c \Phi \omega_m \quad (2.14)$$

$$V = E + R_a I_a \quad (2.15)$$

$$T = K_c \Phi I_a \quad (2.16)$$

โดยที่ $\Phi$	คือ	เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว มีหน่วยเป็น flux/pole ; Webers
$I_a$	คือ	กระแสอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็น A
E	คือ	แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ มีหน่วยเป็น v
V	คือ	แรงดันอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็น v
$R_a$	คือ	ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็น $\Omega$
$\omega_m$	คือ	ความเร็วของอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็น rad/sec
T	คือ	แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น มีหน่วยเป็น N.m
$K_c$	คือ	ค่าคงที่ไฟฟ้า (เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับจำนวนตัวนำ วิธีการพัน และจำนวนขั้วแม่เหล็ก)

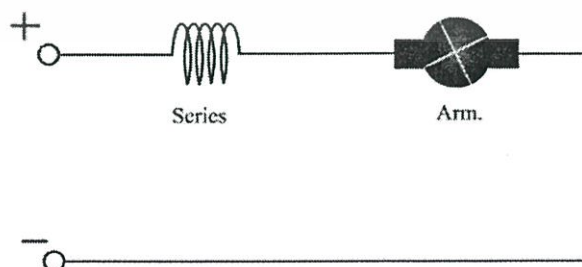
### 2.3.1 การออกตัว (Starting) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [8]

จากสมการ  $I_a = (V - K_c \Phi \omega_m) / R_a$  ในขณะที่อาร์เมเจอร์หยุดนิ่งหรือยังไม่หมุน  $\omega_m = 0$  ดังนั้นกระแส  $I_a = V/R_a$  แต่เนื่องจากความต้านทานของอาร์เมเจอร์  $R_a$  มีค่าน้อยมาก ดังนั้นกระแสเริ่มออกตัวจะมีค่าที่สูงมาก กระแสที่สูงจะทำให้เกิดการสปาร์คที่คอมมิวเตเตอร์และทำให้เกิดความร้อนที่ขดลวด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องจำกัดกระแสให้อยู่ในย่านที่ปลอดภัยในขณะที่เริ่มออกตัวของมอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องต่อความต้านทานภายนอกอนุกรมเข้ากับอาร์เมเจอร์ เพื่อใช้เป็นตัวจำกัดของกระแสไฟฟ้าของอาร์-เมเจอร์ในขณะที่เริ่มหมุน แต่เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนแล้ว แรงดันไฟฟ้าต้านกลับก็จะเกิดขึ้นและเพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ลดลง เมื่อมอเตอร์มีความเร็วเพิ่มขึ้นแล้วความต้านทานที่ต่ออยู่กับอาร์-เมเจอร์จะถูกปรับให้มีค่าลดลง

### 2.3.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [5]

#### 2.3.2.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

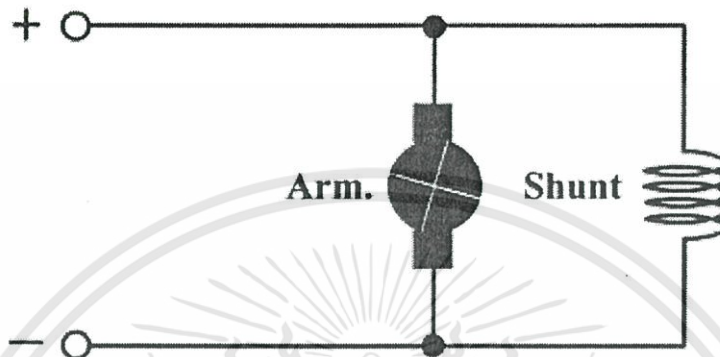
มอเตอร์แบบอนุกรม คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ 2.11 มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูง นิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้ารถยกของเครนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลดที่เพิ่มขึ้น นิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมใช้งานหนักได้ดี เมื่อใช้งานหนักกระแสจะมาก ความเร็วรอบจะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



รูปที่ 2.11 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

### 2.3.2.2 มอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor)

มอเตอร์แบบขนานหรือเรียกว่า ชันท์มอเตอร์ คือมอเตอร์ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ 2.12 มอเตอร์แบบขนานนี้มีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ นิยมใช้กับพัดลม เพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย

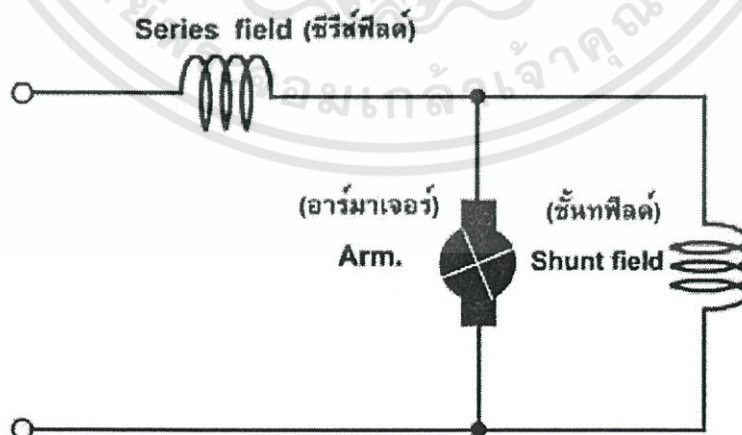


รูปที่ 2.12 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

### 2.3.2.3 มอเตอร์แบบผสม (Compound Motor)

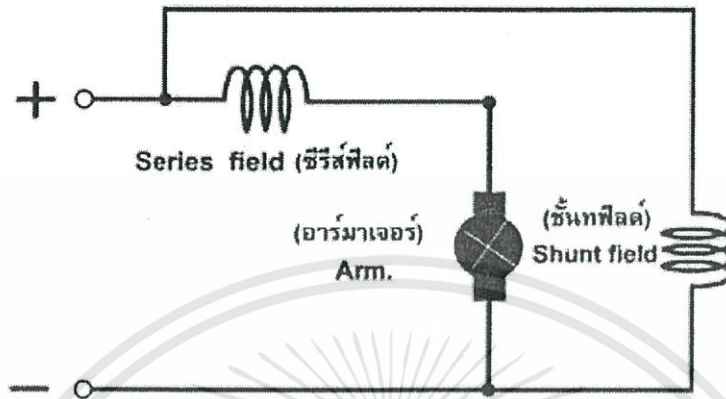
มอเตอร์แบบผสมจะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีการโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดสนาม 2 วิธี คือ

วิธีที่หนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชันท์ขนานกับอาร์เมเจอร์ เรียกว่า ชอร์ตชันท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Short Shunt Compound Motor) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอร์ตชันท์คอมปาวด์

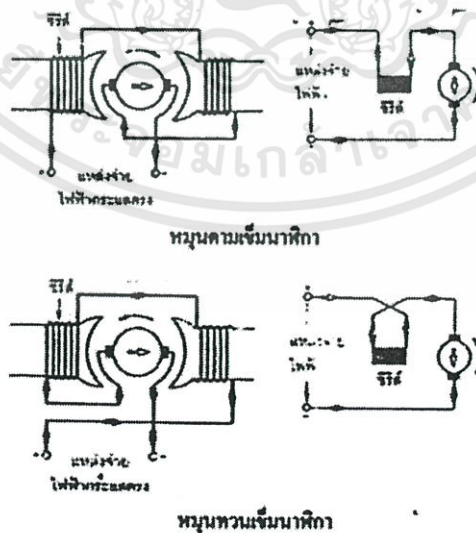
วิธีที่สองคือต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์ เรียกว่า ลอนชันทคอมเปาวด์มอเตอร์ (Long Shunt Compound Motor) ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลอนชันทคอมเปาวด์มอเตอร์

### 2.3.3 วิธีกลับทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [4]

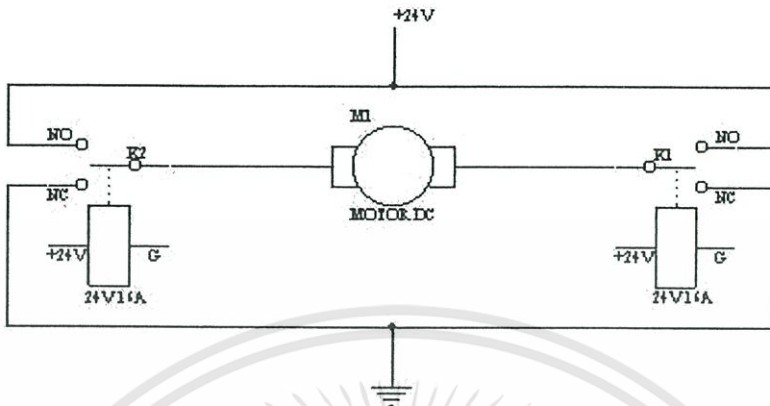
ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์-คอล์ยและทิศทางของกระแสที่ไหลในอาร์มาเจอร์ ในขณะที่มีกระแสไหลผ่านตัวนำจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆตัวนำนั้น โดยปกติแล้วมอเตอร์จะต้องหมุนในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง แต่การกลับทิศทาง การหมุนสามารถทำได้โดยการกลับขั้วต่อของอาร์มาเจอร์หรือขั้วของขดลวดฟิลด์คอล์ยเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง การกลับทางการหมุนของมอเตอร์ โดยการกลับทิศทางไหลของกระแสที่ไหลในอาร์มาเจอร์ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.3.4 การออกแบบวงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [4]



รูปที่ 2.16 วงจรกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการควบคุมการกลับทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถใช้รีเลย์เป็นตัวช่วยในการกลับทางหมุนของมอเตอร์ โดยในหลักการของรีเลย์แล้วเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอยล์ของรีเลย์ ขา NO จะเปิดวงจร ส่วน NC จะปิดวงจร แต่เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอยล์ของรีเลย์ ขา NO จะปิดวงจร ส่วน NC จะเปิดวงจร ตามวงจรด้านบนจะเห็นว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้คอยล์ของรีเลย์ K2 จะทำให้กระแสไหลผ่านจากรีเลย์ K2 ผ่านมอเตอร์ครบวงจรที่รีเลย์ K1 ทำให้มอเตอร์หมุนโดยสมมุติว่ามอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อหยุดจ่ายกระแสให้กับคอยล์ของรีเลย์ K2 มอเตอร์ก็จะหยุดหมุน เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้คอยล์ของรีเลย์ K1 ผ่านมอเตอร์ครบวงจรที่รีเลย์ K2 ทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา และเมื่อหยุดจ่ายกระแสที่คอยล์ของรีเลย์ K1 มอเตอร์ก็จะหยุดหมุนเช่นเดียวกัน

### 2.3.5 ไดโอด (Diode) [11]

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ P-N สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode ; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด P และ แคโทด (Cathode ; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด N



รูปที่ 2.17 (ก) ลักษณะของไดโอด (ข) สัญลักษณ์

ไดโอดจะทำงานเหมือนสวิตช์ โดยอาศัยไฟฟ้าทางด้านแอนโอดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทด ไดโอดจะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ปิด สภาวะการทำงานของไดโอดลักษณะนี้เรียกว่า ไดโอดอยู่ในสภาวะ ON หรือไบอัสตรง (Forward Bias) ในทางตรงกันข้าม ถ้าศักย์ไฟฟ้าทางด้านแอนโอดเป็นลบเมื่อเทียบกับแคโทด ไดโอดจะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์เปิด เราเรียกสภาวะการทำงานของไดโอดลักษณะนี้ว่า ไดโอดอยู่ในสภาวะ OFF หรือไบอัสกลับ (Reverse Bias) ไดโอดมีหน้าที่ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าให้ไหลไปทางเดียว ถ้าหากมีการต่อวงจรผิดกระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลได้ ไดโอดจึงเปรียบเสมือนอุปกรณ์ป้องกันชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ไม่ให้เกิดความเสียหายอันอาจเกิดผลกระทบต่อวงจรไฟฟ้า

### 2.3.5.1 ชนิดของไดโอด

ไดโอดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำแบ่งได้ตามชนิดของเนื้อสารที่ใช้ผลิต เช่น เป็นชนิดเจอร์มันเนียมหรือชนิดซิลิกอน ลักษณะสมบัติทางแรงดันและกระแสของไดโอดทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน

1. ไดโอดชนิดซิลิกอน เป็นไดโอดที่ผลิตขึ้นมาจากเนื้อสารประเภทซิลิกอน ซึ่งนอกจากไดโอดประเภทนี้จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ทิศทางเดียวในลักษณะของการไบอัสตรงแล้วต้องมีแรงดันที่สูงกว่าค่าๆหนึ่งจึงจะสามารถทำให้ไดโอดชนิดซิลิกอนนำกระแส คือ ประมาณ 0.7 โวลต์ การนำไดโอดชนิดซิลิกอนไปใช้งานส่วนมากจะนำไปใช้ในวงจรเรกติไฟร์ หรือวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั่นเอง

2. ไดโอดชนิดเจอร์มันเนียม เป็นไดโอดที่ผลิตขึ้นมาจากเนื้อสารประเภทเจอร์มันเนียม ซึ่งคุณสมบัติของไดโอดชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่คล้ายกัน แต่ไดโอดชนิดนี้แค่แรงดันประมาณ 0.3 โวลต์ ไดโอดก็จะเริ่มนำกระแสแล้ว การนำไปใช้งานส่วนมากจะใช้ในวงจรที่มีสัญญาณขนาดเล็ก เช่น วงจรสวิตซ์ขนาดเล็ก

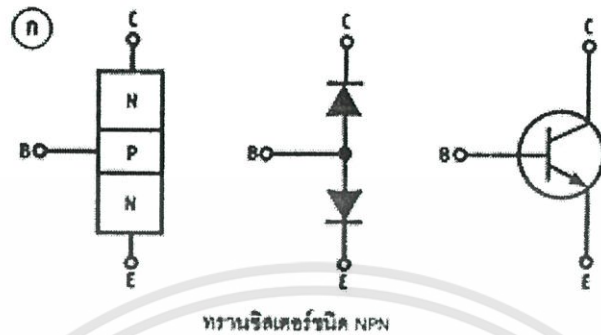
### 2.3.6 ทรานซิสเตอร์ (Transistor) [21]

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้า เปิด/ปิดสัญญาณ ไฟฟ้า คงค่าแรงดันไฟฟ้า หรือกล้ำสัญญาณไฟฟ้า (Modulate) เป็นต้น การทำงานของทรานซิสเตอร์เปรียบได้กับวาล์วที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าขาเข้า เพื่อปรับขนาดกระแสไฟฟ้าขาออกที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดัน แบ่งได้เป็นสองประเภท คือ

#### 2.3.6.1 ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (Bipolar Junction Transistor, BJT)

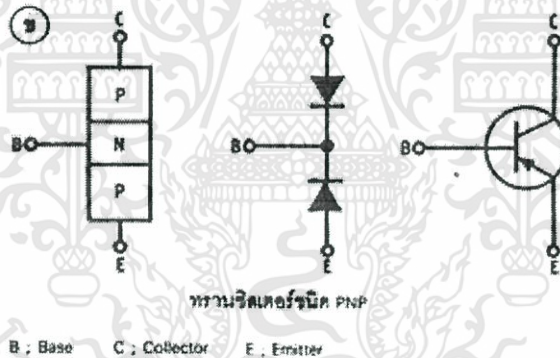
ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (BJT) เป็นทรานซิสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีการเจือสาร โดยช่องการนำสัญญาณหลักมีการใช้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลเพื่อนำกระแสไฟฟ้าหลัก มีขาต่อ 3 ขา คือ คอลเลคเตอร์ (สัญลักษณ์ C) อิมิตเตอร์ (สัญลักษณ์ E) และ เบส (สัญลักษณ์ B) ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่แบ่งเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของการประกบสารกึ่งตัวนำ คือ

- ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN) ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

- ชนิดพีเอ็นพี (PNP) ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ทรานซิสเตอร์นั้นจะประกอบด้วยไดโอดจำนวน 2 ตัว ได้แก่ เบส - คอลเลคเตอร์ไดโอด และเบส-อิมิตเตอร์ไดโอด โดยเมื่อเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ไดโอดทั้งสองจะต่อกันแบบหลังชนหลัง แต่ถ้าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ไดโอดทั้งสองจะชี้เข้าไปยังขาเบส

### 2.3.6.2 ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (Field Effect Transistor, FET)

ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (FET) มีขาต่อสามขา คือ ขาเดรน(Drain) เกท(Gate) ซอร์ส(Source) หลักการทำงานแตกต่างจากทรานซิสเตอร์แบบหัวต่อไบโพลาร์ นั่นคืออาศัยสนามไฟฟ้าในการสร้างช่องนำกระแสเพื่อให้เกิดการนำกระแสของตัวทรานซิสเตอร์ ในแง่ของการนำกระแส ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าและแบบหัวต่อไบโพลาร์ มีลักษณะของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน นั่นคือกระแสในทรานซิสเตอร์แบบหัวต่อไบโพลาร์จะ

เป็นกระแสที่เกิดจากพาหะส่วนน้อย (Minor Carrier) แต่กระแสในทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าจะเกิดจากพาหะส่วนมาก (Major Carrier) ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

- JFET
- MESFET
- MOSFET ซึ่งแบ่งเป็นสองแบบคือ แบบ depletion และ enhancement

### 2.3.7 ตัวต้านทาน (Resistor) [11]

ตัวต้านทานเป็นอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ที่ถูกใช้งานเกี่ยวกับความต้านทานเพียงอย่างเดียวในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์ชนิดนี้จะถูกเรียกชื่อว่า “ตัวต้านทาน” หรือเรียกชื่อทับศัพท์ว่า “รีซิสเตอร์” หรือ “อาร์” ตัวต้านทานจัดเป็นอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ คือ ตัวมันเองไม่สามารถขยายสัญญาณหรือแรงดันต่างๆ ได้ จะมีหน้าที่ในการจำกัดกระแสที่ไหลในวงจรที่กำหนดไว้เท่านั้น ตัวต้านทานจะถูกนำไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ได้แก่ เครื่องรับส่งวิทยุ เครื่องขยายเสียง เครื่องคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ เป็นต้น ค่าของตัวความต้านทานมีหน่วยในการวัดเป็น โอห์ม (Ohm)

#### 2.3.7.1 ชนิดของตัวต้านทาน

ตัวต้านทานที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีอยู่มากมายหลายชนิดและหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของตัวต้านทานตามลักษณะของการใช้งานได้ดังนี้ คือ

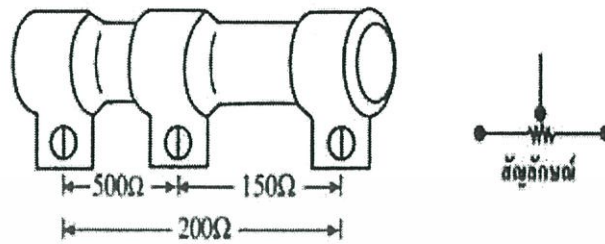
1. ตัวต้านทานชนิดคงที่ (Fixed Resistor) ตัวต้านทานชนิดคงที่เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมา มีค่าความต้านทานคงที่ตายตัว เปลี่ยนแปลงไม่ได้ สามารถสร้างให้มีค่าความต้านทานกว้างมาก ตั้งแต่ค่าต่ำเป็นเศษส่วนของโอห์มไปจนถึงค่าสูงสุดเป็นเมกะโอห์มขึ้นไป ผลิตมาใช้งานได้ทั้งประเภทโลหะและประเภทโลหะ โดยเรียกตามวัสดุที่นำมาใช้ผลิต เช่น ไวร็ววาร์ด ฟิล์มโลหะ คาร์บอนและฟิล์มคาร์บอน เป็นต้น ค่าทนกำลังไฟฟ้ามีตั้งแต่ 1/16 วัตต์ ถึงหลายร้อยวัตต์ โดยทั่วไปตัวต้านทานชนิดนี้จะนิยมบอกค่าความต้านทานด้วยแถบสี ซึ่งแถบสีนอกจากจะบอกค่าความต้านทานแล้วยังบอกเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานด้วย รูปร่างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานแบบคงที่แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวต้านทานชนิดคงที่

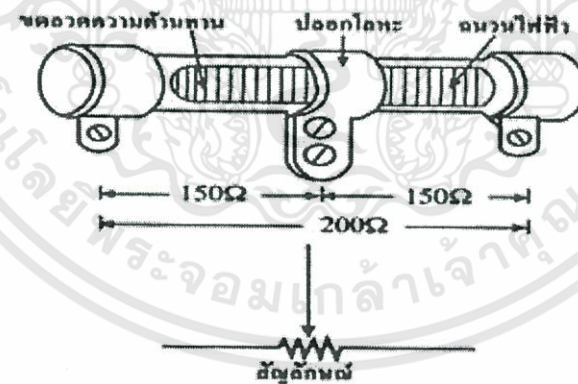
2. ตัวต้านทานชนิดเลือกค่าได้ (Tapped Resistor) ตัวต้านทานชนิดเลือกค่าได้ คือ ตัวต้านทานแบบไวร็ววาร์ด ชนิดหนึ่ง มีค่าความต้านทานคงที่ตายตัวเหมือนตัวต้านทานแบบคงที่ ในตัวต้านทานแบบคงที่ที่มีการแบ่งค่าตัวต้านทานออกเป็นสองค่าหรือสามค่าภายในตัวต้านทานเพียงตัวเดียว ดังนั้นจึงมีขาต่อออกมาใช้งาน 3 หรือ 4 ขา หาก

ต้องการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานก็ใช้การเปลี่ยนตำแหน่งขาของตัวต้าน ตัวต้านทานชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่และใช้ในงานที่มีกำลังวัตต์สูงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ตัวต้านทานชนิดเลือกค่าได้

3. ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (Adjustable Resistor) ตัวต้านทานชนิดนี้เป็นตัวต้านทานแบบไวร์วาวด์อีกชนิดหนึ่งที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต้องการใช้งานได้ โดยบนตัวต้านทานชนิดนี้จะมีปลอกโลหะสวมอยู่ และสามารถเลื่อนตำแหน่งเพื่อให้ได้ความต้านทานที่ต้องการ มีสกรูขันยึดปลอกโลหะให้สัมผัสแน่นกับเส้นลวดที่ตัวต้านทานทั้งนี้เพื่อป้องกันการเลื่อนเปลี่ยนตำแหน่ง การใช้งานของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จะใช้ค่าความต้านทานเฉพาะค่าใดค่าหนึ่งที่ปรับไว้เท่านั้น เป็นตัวต้านทานที่มีขนาดใหญ่ ใช้ในงานที่มีกำลังวัตต์สูง รูปร่างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่า แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

4. ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ (Variable Resistor) ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ เป็นตัวต้านทานที่สามารถปรับเปลี่ยนความต้านทานได้ตลอดเวลาที่ต้องการ ตั้งแต่ค่าความต้านทานต่ำสุดไปจนถึงความต้านทานสูงสุดของตัวมันเองได้อย่างต่อเนื่อง โดยการใช้แกนหมุนหรือเลื่อนแกน ดังนั้นจึงมีโครงสร้างเป็นรูปโค้งเกือบเป็นวงกลม (แบบแกนหมุน) หรืออาจเป็นแท่งยาว (แบบเลื่อนแกน) มีขาออกมาใช้งาน 3 ขา ที่ขากลางเป็นตัวปรับเลื่อนค่าไปมาได้

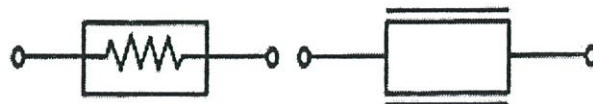
วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้จะใช้วัสดุประเภทเดียวกันกับตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ คือแบบคาร์บอน และแบบไวร์ววด์ รูปร่างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้

5. ตัวต้านทานชนิดพิเศษ (Special Resistor) เป็นตัวต้านทานที่สร้างขึ้นมาใช้งานเฉพาะหน้าที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานได้ตามอุณหภูมิหรือความเข้มแสงที่มาตกกระทบตัวต้านทาน เช่น ฟิวส์รีซิสเตอร์ (Fuse Resistor) เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) และแอลดีอาร์ (LDR ; Light Dependent Resistor) เป็นต้น

- ฟิวส์รีซิสเตอร์ (Fuse Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ใช้ทำหน้าที่แทนฟิวส์เพื่อป้องกันความเสียหายของวงจรเมื่อมีการกระจายกระแสไหลผ่านวงจรมากเกินไปที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้ตัวต้านทานขาดทันที โดยทั่วไปตัวต้านทานชนิดนี้จะมีค่าประมาณ 0 – 200 โอห์ม สัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.24

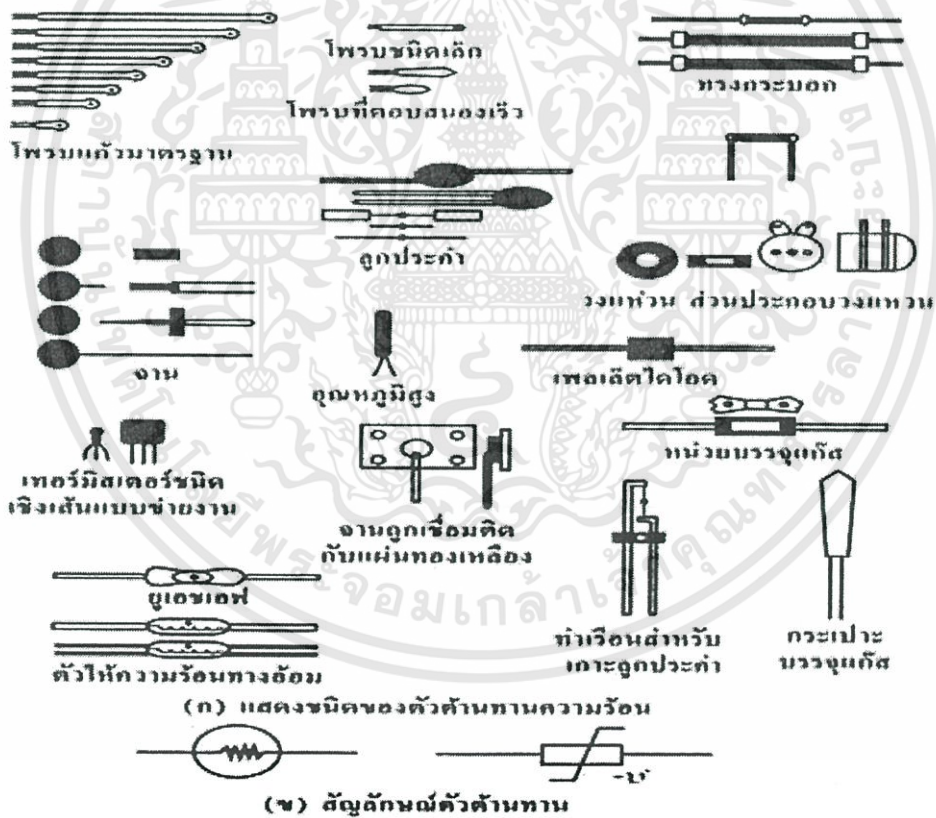


รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ของฟิวส์รีซิสเตอร์

- เทอร์มิสเตอร์หรือตัวต้านทานความร้อน (Thermal Resistor) เป็นตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงอาจไม่เป็นเชิงเส้น (Non - Linear) และแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ผลิต โครงสร้างและส่วนประกอบภายในมักนำมาจากธาตุเซอร์มันเนียมและซิลิกอน โดยรูปร่างที่ผลิตขึ้นมาใช้งานมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน เช่น รูปร่าง ทรงกระบอก แห่งถูกประจำหรืออื่นๆ รูปร่างและสัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.25 คุณสมบัติของตัวเทอร์มิสเตอร์ที่ผลิตขึ้นมาใช้งานมี 2 ชนิด คือ ชนิด NTC และชนิด PTC

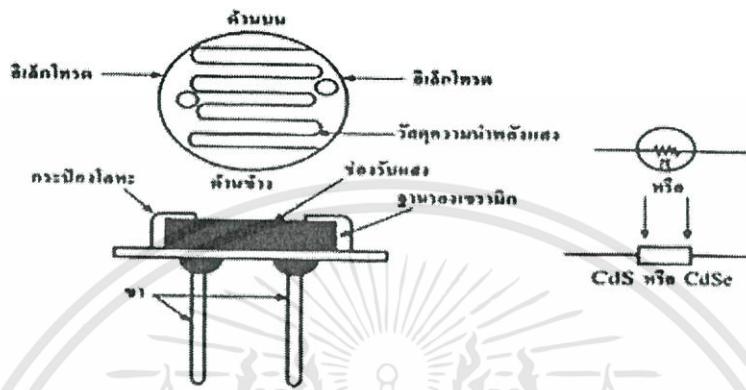
1. ชนิด NTC (Negative Temperature Coefficient) หรือเทอร์มิสเตอร์แบบลบ เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตรงข้ามกับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิต่ำเทอร์มิสเตอร์จะมีความต้านทานเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเทอร์มิสเตอร์จะมีความต้านทานลดลง

2. ชนิด PTC (Positive Temperature Coefficient) หรือเทอร์มิสเตอร์แบบบวก เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเป็นไปตามค่าอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิต่ำ เทอร์มิสเตอร์จะมีความต้านทานลดลงและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เทอร์มิสเตอร์จะมีความต้านทานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.25 เทอร์มิสเตอร์ชนิดต่างๆ

3. แอลดีอาร์ (LDR) หรือ ตัวต้านทานพลังงานแสง (Photo Resistor) เป็นตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนสภาพการนำไฟฟ้าได้เมื่อมีความเข้มแสงมาตกกระทบตัวมัน คือ เมื่อแสงสว่างตกมากระทบน้อย LDR จะมีความต้านทานสูง และเมื่อแสงสว่างมาตกกระทบมาก LDR จะมีความต้านทานต่ำตัวต้านทานชนิดนี้จะทำมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) รูปร่างและสัญลักษณ์ของ LDR แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ตัวต้านทานพลังงานแสง (LDR)

การอ่านค่าความต้านทานจากรหัสสีบนตัวต้านทานดังรูปที่ 2.27 และ 2.28

- แถบสีที่ 1      บอกเลขตัวแรกของค่าความต้านทาน
- แถบสีที่ 2      บอกเลขตัวที่ 2 ของค่าความต้านทาน
- แถบสีที่ 3      บอกตัวคูณกับตัวเลข 2 ตัวแรก หรือ บอกจำนวนเลขศูนย์หลังเลข 2 ตัวแรก
- แถบสีที่ 4      บอกถึงค่าความคลื่อนของตัวต้านทาน

**แถบสีของความต้านทาน**

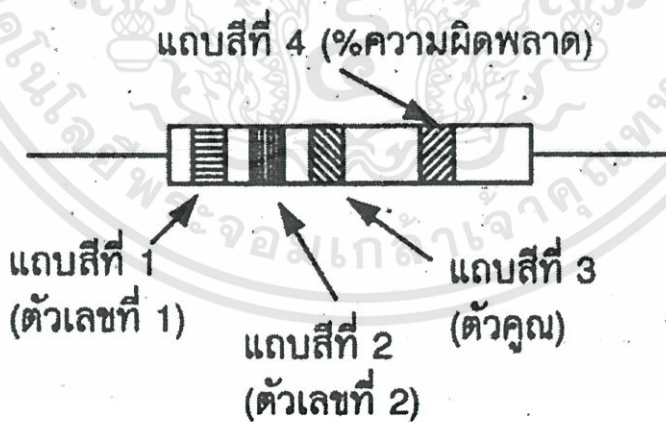
ดำ.....	0
น้ำตาล.....	1
แดง.....	2
ส้ม.....	3
เหลือง.....	4
เขียว.....	5
ฟ้า.....	6
ม่วง.....	7
เทา.....	8
ขาว.....	9
ทอง.....	-1
เงิน.....	-2

ใช้เฉพาะแถบที่ 3

สีแดง	2%
สีเงิน	10%
สีทอง	5%
ไม่มีสี	20%

เฉพาะจุดที่ 4 เป็นแถบสุดท้ายที่ 4

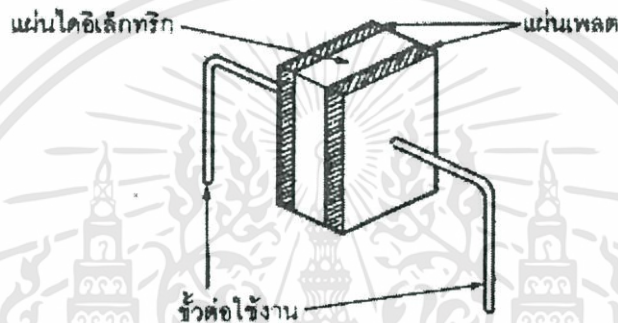
รูปที่ 2.27 แถบสีของความต้านทาน



รูปที่ 2.28 การอ่านรหัสสีบนตัวต้านทาน

### 2.3.8 ตัวเก็บประจุ (Capacitor) [15]

ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บประจุ (Charge) และสามารถคายประจุ (Discharge) ได้ โดยนำขั้วไฟฟ้าหรือเพลต 2 ชั้นมาวางในลักษณะขนานใกล้ ๆ กัน แต่ไม่ได้ต่อดังกัน ระหว่างเพลตทั้งสองจะถูกกั้นด้วยฉนวนที่เรียกว่าไดอิเล็กตริก (Dielectric) ซึ่งไดอิเล็กตริกนี้อาจจะเป็นอากาศ ไม้ก้า พลาสติก เซรามิกหรือสารที่มีสภาพคล้ายฉนวนอื่น ๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.29 และเพลตจะเก็บประจุชนิดตรงกันข้าม แต่มีปริมาณเท่ากัน ดังนั้นประจุสุทธิในตัวเก็บประจุจึงมีค่าเท่ากับ 0 เสมอ นิยมนำมาประกอบในวงจรทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ตัวอย่างเช่น วงจรกรองกระแส (Filter) วงจรผ่านสัญญาณ (By-pass) วงจรสตาร์ทเตอร์ (Starter) วงจรถ่ายทอดสัญญาณ (Coupling) เป็นต้น ตัวเก็บประจุเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าคอนเดนเซอร์หรือเรียกย่อ ๆ ว่าตัวซี (C) หน่วยของตัวเก็บประจุคือ ฟาร์ด



รูปที่ 2.29 พื้นฐาน โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

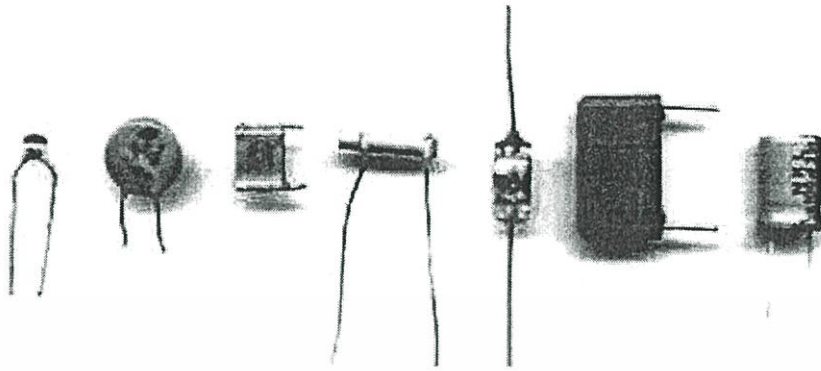
#### 2.3.8.1 การทำงานของตัวเก็บประจุ

1. การเก็บประจุ คือ การเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่แผ่นเพลตของตัวเก็บประจุ เมื่อนำแบตเตอรี่ต่อกับตัวเก็บประจุ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแบตเตอรี่จะเข้าไปรวมกันที่แผ่นเพลตทำให้เกิดประจุลบขึ้นและยังส่งสนามไฟฟ้าไปผลักอิเล็กตรอนของแผ่นเพลตตรงข้าม ซึ่งโดยปกติในแผ่นเพลตจะมี ประจุเป็น + และ - ประปนกันอยู่ เมื่ออิเล็กตรอนจากแผ่นเพลตนี้ถูกผลักให้หลุดออกไปแล้วจึงเหลือประจุบวกมากกว่าประจุลบ ยิ่งอิเล็กตรอนถูกผลักออกไปมากเท่าไร แผ่นเพลตนั้นก็จะเป็นบวกมากขึ้นเท่านั้น

2. การคายประจุ ตัวเก็บประจุที่ถูกประจุแล้วถ้าเรายังไม่นำขั้วตัวเก็บประจุมาต่อกันอิเล็กตรอนก็ยังคงอยู่ที่แผ่นเพลต แต่ถ้ามีการครบวงจรระหว่างแผ่นเพลตทั้งสองเมื่อไรอิเล็กตรอนก็จะวิ่งจากแผ่นเพลตทางด้านลบไปครบวงจรที่แผ่นเพลตบวกทันที เรียกว่า การคายประจุ

#### 2.3.8.2 ชนิดของตัวเก็บประจุ

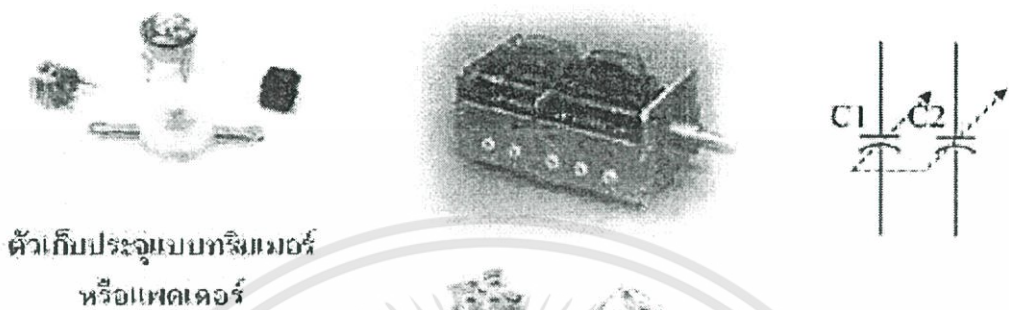
1. ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ (Fixed Capacitor) คือตัวเก็บประจุที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยปกติจะมีรูปลักษณะเป็นวงกลม หรือเป็นทรงกระบอก ซึ่งมักแสดงค่าที่ตัวเก็บประจุ เช่น 5 พิโกฟาร์ด (pF) 10 ไมโครฟาร์ด ( $\mu F$ ) แผ่นเพลตตัวนำมักใช้โลหะและมีไดอิเล็กตริกประเภท ไม้ก้า เซรามิก อิเล็กโตรไลติกชั้นกลาง เป็นต้น การเรียกชื่อตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่นี้จะเรียกชื่อตามไดอิเล็กตริกที่ใช้ เช่น ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโตรไลติก ชนิดเซรามิก ชนิดไม้ก้า เป็นต้น ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่มีใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปมีดังนี้คือ



รูปที่ 2.30 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่

- ชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor) เป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะให้ค่าความจุสูง มีขั้วบวกลบ ต้องระวังในการนำไปใช้งานด้วย โครงสร้างภายในคล้ายกับแบตเตอรี่ นิยมใช้กับงานความถี่ต่ำหรือใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง มีข้อเสียคือกระแสรั่วไหลและความผิดพลาดสูงมาก
- ชนิดแทนทาลัมอิเล็กโทรไลต์ (Tantalum Electrolyte Capacitor) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการความผิดพลาดน้อยใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ มักจะใช้ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัมอิเล็กโทรไลต์แทนชนิดอิเล็กโทรไลต์ธรรมดา เพราะให้ค่าความจุสูงเช่นกัน โครงสร้างภายในประกอบด้วยแผ่นตัวนำทำมาจากแทนทาลัมและแทนทาลัมเปอร์ออกไซด์อีกแผ่น นอกจากนี้ยังมีเมงกานีสไดออกไซด์ เงิน และเคลือบด้วยเรซิน
- ชนิดไบโพลาร์ (Bipolar Capacitor) นิยมใช้กันมากในวงจรภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องขยายเสียง เป็นตัวเก็บประจุจำพวกเดียวกับชนิดอิเล็กโทรไลต์ แต่ไม่มีขั้วบวกลบ บางครั้งเรียกสั้น ๆ ว่า ไบแคป
- เซรามิก (Ceramic Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าไม่เกิน 1 ไมโครฟารัด ( $\mu F$ ) นิยมใช้กันทั่วไปเพราะมีราคาถูก เหมาะสำหรับวงจรประเภทปลั๊กความถี่วิทยุ ข้อเสียของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกคือมีการสูญเสียมาก
- ชนิดไมลาร์ (Mylar Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่ามากกว่า 1 ไมโครฟารัด ( $F$ ) เพราะฉะนั้นในงานบางอย่างจะใช้ไมลาร์แทนเซรามิก เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดและการรั่วไหลของกระแสต่ำกว่าชนิดเซรามิก เหมาะสำหรับวงจรกรองความถี่สูง วงจรภาคไอเอฟของวิทยุ, โทรทัศน์ ตัวเก็บประจุชนิดไมลาร์จะมีตัวถังที่ใหญ่กว่าเซรามิกในอัตราทนแรงดันที่เท่ากัน
- ชนิดฟีดทรู (Feed-through Capacitor) ลักษณะโครงสร้างเป็นตัวถังทรงกลมมีขาใช้งานหนึ่งหรือสองขา ใช้ในการกรองความถี่รบกวนที่เกิดจากเครื่องยนต์มักใช้ในวิทยุรถยนต์
- ชนิดโพลีสไตรีน (Polystyrene Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยระดับนาโนฟารัด (nF) มีข้อดีคือให้ค่าการสูญเสียและกระแสรั่วไหลน้อยมาก นิยมใช้ในงานปลั๊กความถี่วิทยุและวงจรจูนที่ต้องการความละเอียดสูง จัดเป็นตัวเก็บประจุนับเกรด A
- ชนิดซิลเวอร์ไมกา (Silver Mica Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่า 10 พิโกฟารัด (pF) ถึง 10 นาโนฟารัด (nF) เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อย นิยมใช้กับวงจรความถี่สูง จัดเป็นตัวเก็บประจุนับเกรด A อีกชนิดหนึ่ง

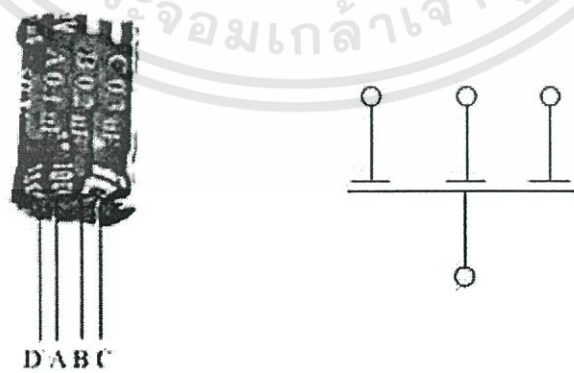
2. ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ (Variable Capacitor) ค่าการเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนที่ของแกนหมุน โครงสร้างภายในประกอบด้วย แผ่นโลหะ 2 แผ่นหรือมากกว่าวางใกล้กัน แผ่นหนึ่งจะอยู่กับที่ส่วนอีกแผ่นหนึ่งจะเคลื่อนที่ได้ ได้อิเล็กตริกที่ใช้มีหลายชนิดด้วยกันคือ อากาศ ไมก้า เซรามิก และพลาสติก เป็นต้นดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้อีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันดีคือทริมเมอร์และแพดเดอร์ (Trimmer and Padder) โครงสร้างภายในประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่นวางขนานกัน ในกรณีที่ต้องการปรับค่าความจุ ให้ใช้ไขควงหมุนสลักตรงกลางค่าที่ปรับจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 พิโกฟารัด (pF) ถึง 20 พิโกฟารัด (pF) การเรียกชื่อตัวเก็บประจุแบบนี้ว่าทริมเมอร์หรือแพดเดอร์นั้นขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปต่อในลักษณะใด ถ้านำไปต่อขนานกับตัวเก็บประจุตัวอื่นจะเรียกว่า ทริมเมอร์ แต่ถ้านำไปต่ออนุกรมจะเรียกว่า แพดเดอร์

3. ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้ (Select Capacitor) คือตัวเก็บประจุในตัวถังเดียว แต่มีค่าให้เลือกใช้งานมากกว่าหนึ่งค่าดังแสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้

### 2.3.8.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการเก็บประจุ

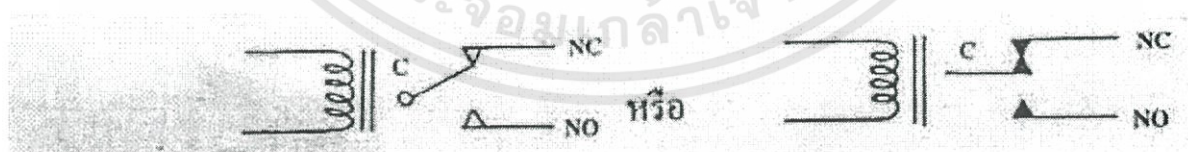
1. พื้นที่หน้าตัดของสารตัวนำที่เป็นแผ่นเพลท เขียนแทนด้วยอักษร A ถ้าพื้นที่หน้าตัดมากแสดงว่าสามารถเก็บประจุได้มาก ถ้าพื้นที่หน้าตัดน้อยแสดงว่าเก็บประจุได้น้อย เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าในวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปนั้นจะประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุขนาดเล็กและขนาดใหญ่จำนวนมาก ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะเก็บประจุได้มาก เพราะมีพื้นที่หน้าตัดมากนั่นเอง

2. ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง เขียนแทนด้วยอักษร d ถ้าอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กัน ความจุจะมีค่ามาก ถ้าอยู่ในตำแหน่งที่ไกลกันความจุจะมีค่าน้อย

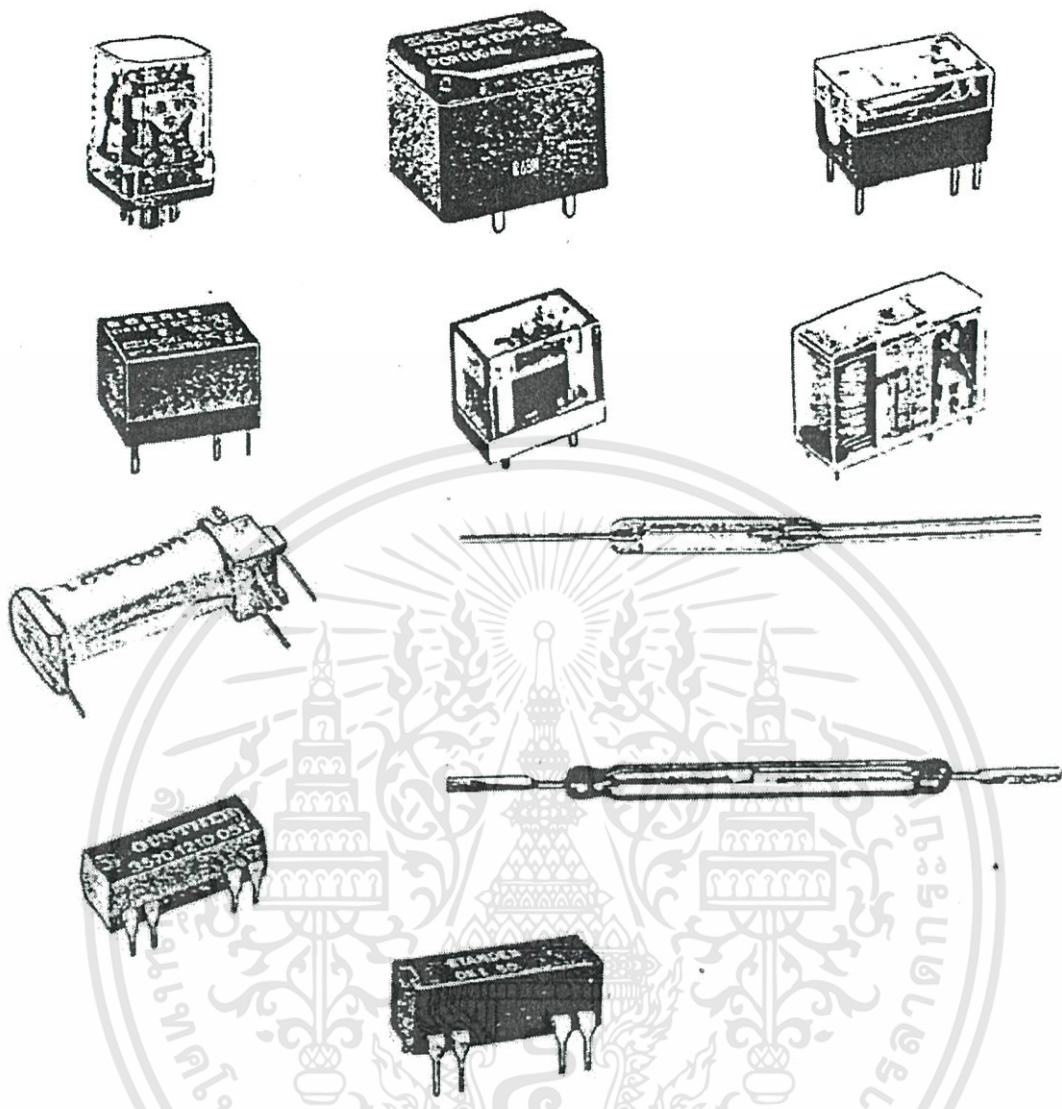
3. ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\epsilon$  ค่าคงที่ของไดอิเล็กตริกเป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความสามารถในการที่จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นเมื่อนำวัสดุต่างชนิดกันมาทำเป็นฉนวนกั้นระหว่างแผ่นเพลท ค่าคงที่ของไดอิเล็กตริกแต่ละตัวจะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ใช้ไดอิเล็กตริกต่างกันถึงแม้จะมีขนาดเท่ากัน ค่าความจุและอัตราทนแรงดันอาจแตกต่างกันออกไป สูญญากาศเป็น ไดอิเล็กตริกที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น การจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ามากเกินไปอาจทำให้ไดอิเล็กตริกสูญเสียสภาพจากฉนวนกลายเป็นตัวนำได้

### 2.3.9 รีเลย์ (Relay) [4]

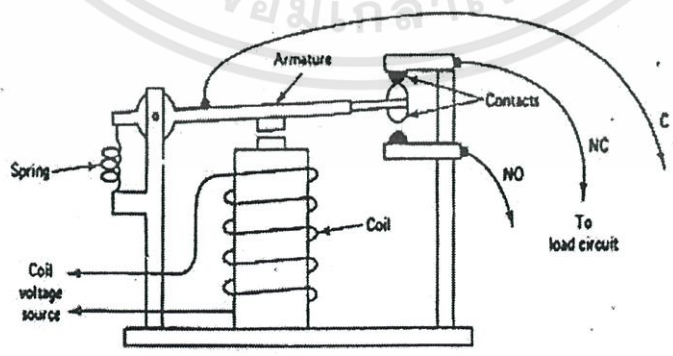
รีเลย์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำงานเป็นสวิตช์ทางไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยส่วนประกอบของรีเลย์จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.35 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประกอบด้วยขดลวด 1 ตัว และหน้าสัมผัสซึ่งเรียกว่า คอนแทค 1 ชุดประกอบไปด้วยขาปกติปิดใช้ตัวย่อว่า NC ขาปกติเปิดใช้ตัวย่อว่า NO และขาคอมมอนซึ่งเป็นขาจุดร่วมของขา NO และ NC รีเลย์จะทำงานได้ต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ขดลวด แล้วขดลวดจะผลิตสนามแม่เหล็กและจะทำให้คอนแทค NO และ NC ถูกเปลี่ยนสภาพ คือ คอนแทค NC จากที่เคยปิดอยู่ก่อนใช้งานจะเปิดออกและ NO จากที่เคยเปิดอยู่ก็จะปิดเข้ามา หน้าสัมผัสของรีเลย์ในรีเลย์บางตัวจะไม่มีคอนแทคแค่ชุดเดียวเท่านั้น อาจจะมี 2 ชุด, 3 ชุด หรือมากกว่านั้นก็ได้ การสังเกตว่ารีเลย์ตัวๆ หนึ่งว่าจะมีคอนแทคกี่ชุดนั้น ก็ทำได้โดยสังเกตขาของรีเลย์ โดยคอนแทค 1 ชุด จะมี 5 ขา คือขดลวด 2 ขา NC 1 ขา NO 1 ขา และ C 1 ขา เช่น ถ้ารีเลย์มี 8 ขา ก็แสดงว่ามีขาขดลวด 2 ขา และคอนแทค 2 ชุด (คือ 6 ขา) เป็นต้น ยังมีรีเลย์อีกบางชนิดที่ทำงานเหมือนกับรีเลย์ชนิดนี้เรียกว่า Reed Relay แต่มีขนาดทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า รูปร่างและสัญลักษณ์ของรีเลย์จะมีคุณลักษณะดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.33 สัญลักษณ์รีเลย์



รูปที่ 2.34 รูปร่างและสัญลักษณ์ของรีเลย์

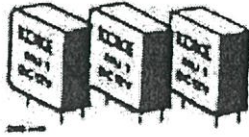


รูปที่ 2.35 ส่วนประกอบภายในของรีเลย์

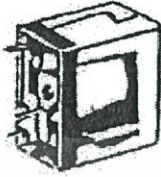
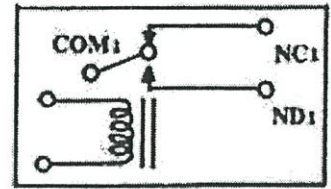
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.9.1 การตรวจสอบรีเลย์

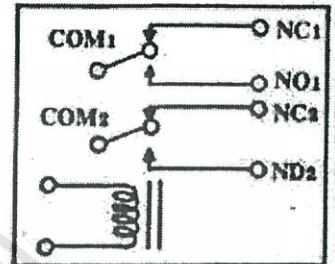
1. หากคอยล์ของรีเลย์ด้วยการสังเกตจากลักษณะภายนอกของรีเลย์ว่า คอยล์ของรีเลย์อยู่ส่วนใด จากนั้นให้นำคู่มือของรีเลย์จากลักษณะภายนอก จะสังเกตเห็นขาของคอยล์รีเลย์ได้ง่าย คือ คอยล์ของรีเลย์จะต่อกับขาภายนอกที่โผล่ออกมาสองขา ซึ่งแตกต่างกับขาของคอนแทค
2. ใช้มัลติเตอร์ทำการวัดค่าความต้านทานของคอยล์รีเลย์ในกรณีที่ทราบคุณสมบัติของคอยล์รีเลย์ ถ้าหากไม่ทราบว่าคอยล์มีความต้านทานจริงเท่าไร ให้ทำการวัดค่าความต้านทานที่คอยล์คู่ว่าคอยล์ขาดหรือไม่ ถ้าวัดค่าความต้านทานแล้ว ได้ค่าความต้านทานเป็นอนันต์แสดงว่าคอยล์ของรีเลย์ขาด
3. หากหน้าคอนแทคปกติปิด (NC) โดยการสังเกตภายในแล้วทำการวัดค่าความต้านทานโดยใช้เร็นจ์ x1 ทำการวัดผลการวัดจะอ่านค่าความต้านทานได้ศูนย์โอห์ม ถ้าอ่านค่าได้เป็นอนันต์แสดงว่ารีเลย์มีหน้าคอนแทคที่สกปรกมาก ให้เปิดฝาครอบหน้าคอนแทคออกแล้วใช้กระดาษทรายละเอียดขัดหน้าคอนแทค แล้วทำการวัดค่าใหม่จนได้ค่าความต้านทานเป็นศูนย์โอห์ม
4. ให้ทำการตรวจสอบหน้าคอนแทคปิดทุกตัวภายในรีเลย์
5. ทำการตรวจสอบหน้าคอนแทคปกติเปิด (NO) โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากับคอยล์ตามที่ต้องการ โดยจะบอกแรงดันไฟไว้บนฝาครอบรีเลย์ เช่น 12VDC หมายความว่า รีเลย์ต้องการแรงดันไฟตรง 12 โวลต์เพื่อป้อนคอยล์รีเลย์ทำงาน 12VAC หมายความว่า รีเลย์ต้องการแรงดันไฟสลับ 12 โวลต์ เพื่อป้อนคอยล์รีเลย์ทำงาน
6. การทำการวัดค่าความต้านทาน โดยใช้เร็นจ์ x1 ทำการวัดหน้าคอนแทคปกติเปิด (NO) ซึ่งเมื่อป้อนไฟเลี้ยงคอยล์แล้ว หน้าคอนแทคนี้ก็จะถูกอำนาจแม่เหล็กจากคอยล์ดึงมาให้สัมผัสกัน ดังนั้นสามารถวัดค่าความต้านทานในขณะนี้ได้ศูนย์โอห์ม ถ้ารีเลย์ปกติ แต่หากรีเลย์มีหน้าคอนแทคสกปรก ซึ่งเกิดจากอาร์คของกระแสระหว่างหน้าคอนแทคหรือจากฝุ่นผงจะทำให้ค่าที่วัดความต้านทานได้มีค่าอนันต์ สามารถแก้ไขโดยการ ใช้กระดาษทรายละเอียดขัด เช่นเดียวกับปัญหาการสกปรกของหน้าคอนแทคปกติปิด (NC)



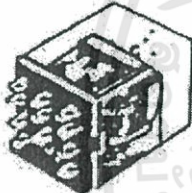
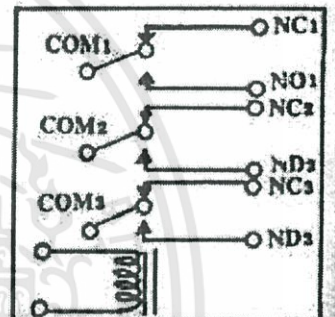
รุ่น MU 1 คอนแทก 11 PDT) 5 แอมป์  
(เฉพาะกลุ่มวันที่ ขาดแต่มี)  
12 VDC 200 ohm



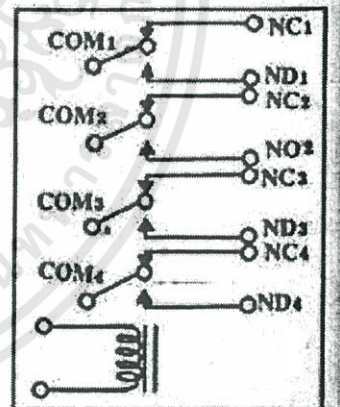
รุ่น MA 1 คอนแทก 11 PDT) 5 แอมป์  
ขาดต่อปริ้นท์ที่ใต้เลย  
MA 3 VDC 90 ohm  
MA 6 VDC 150 ohm  
MA 12 VDC 1.4K ohm  
MA 24 VDC 5.6K ohm



รุ่น MB 2 คอนแทก 12 PDT) 10 แอมป์  
MB 6 VDC 400 ohm  
MB 12 VDC 1.3K ohm  
MB 24 VDC 4.2K ohm  
MB 220 VAC 1.6K ohm  
MB Socket 4 clip

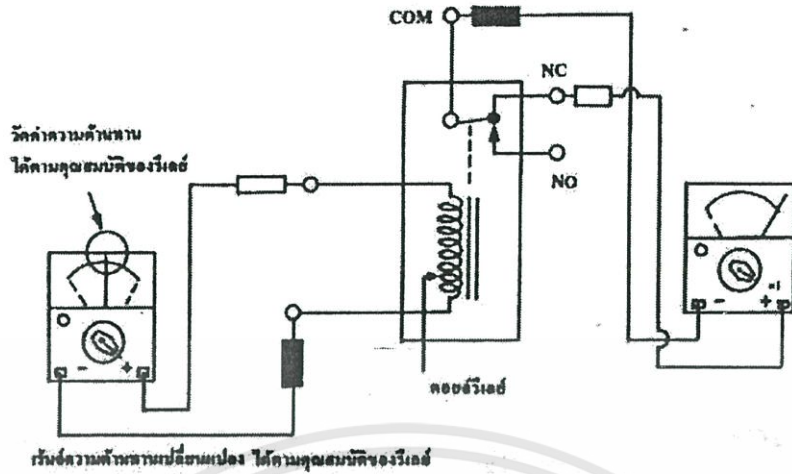


รุ่น MK 3 คอนแทก 13 PDT) 10 แอมป์  
MK 45 VDC 11.4K ohm



รุ่น MG 4 คอนแทก 14 PDT) 5 แอมป์  
MG 6 VDC 40 ohm  
MG 12 VDC 160 ohm  
MG 24 VDC 650 ohm  
MG 48 VDC 2.6K ohm  
MG 220 VAC 12K ohm  
MG Socket 4 clip

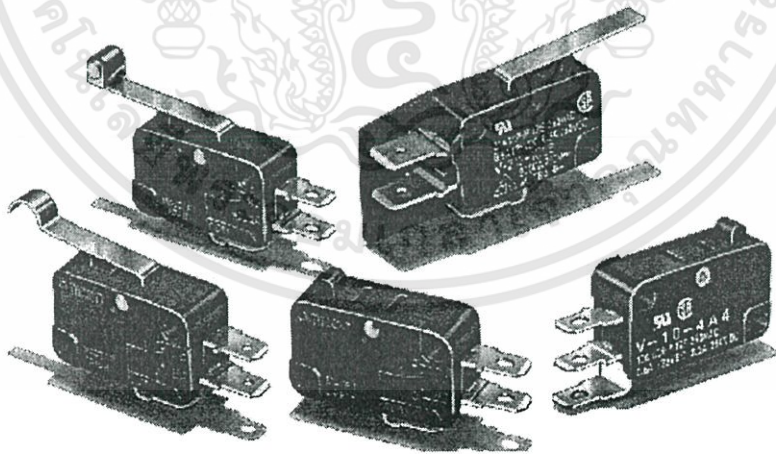
รูปที่ 2.36 แสดงคอยรีเลย์ในแบบต่างๆ



รูปที่ 2.37 การตรวจสอบรีเลย์โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความดันทาน

### 2.3.10 ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch) [16]

ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch) หรือสวิตช์จำกัดระยะ เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยการชนของวัตถุกับลูกดิ่ง (Roller) เป็นผลให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่กับก้านชนเปิด-ปิดตามจังหวะของการชน โดยโครงสร้างภายในจะมีส่วนที่เป็นสปริงโค้งอยู่ในตำแหน่ง Critical เมื่อกดแล้วจะทำให้หน้าสัมผัส ตัดต่อวงจร ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.39 นิยมใช้ในการออกแบบควบคุมการทำงานของเครื่องที่ต้องใช้ไฟฟ้าร่วมในการควบคุมตำแหน่งจักรกล เช่น ลิฟท์โดยสาร, ลิฟท์ขนของ, ประตูที่ทำงานด้วยไฟฟ้า, ระบบสายพานลำเลียง เป็นต้น



รูปที่ 2.38 ลิ้มิตสวิตช์

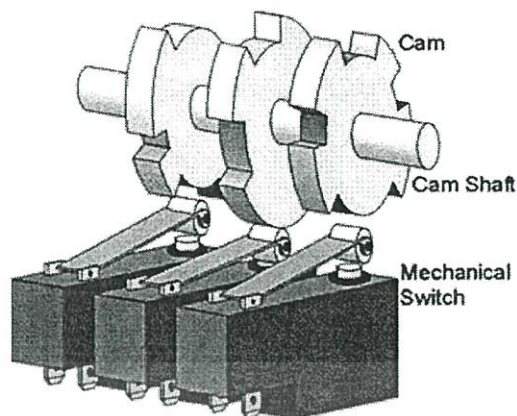


figure 1.1

รูปที่ 2.39 กลไกการทำงานของลิมิตสวิตช์

## 2.4 แบตเตอรี่ (Battery) [22]

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สะสมและจ่ายพลังงานไฟฟ้า เมื่อโลหะต่างชนิดกัน 2 ชนิด คือ แผ่นบวกและลบจุ่มอยู่ในสารละลายไฟฟ้า (กรดซัลฟูริก) ซึ่งประกบกันขึ้นเป็นแบตเตอรี่และให้แรงดันไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโลหะทั้งสองจะเกิดขึ้นเมื่อมีวงจรต่อระหว่างขั้วบวกและลบโดยพลังงานเคมีจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่รถยนต์มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

1. แบบเปียก
2. แบบแห้ง

แบบแห้ง ไม่ต้องเติมน้ำกลั่น มีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และมีราคาแพง แบตเตอรี่แบบแห้งนี้จะมีอายุการใช้งานโดยประมาณ 5-10 ปี แบตเตอรี่แบบนี้ไม่มีฝาปิด-เปิดสำหรับเติมน้ำกลั่น หรือไม่ก็ถูกซีลทับฝาไปเลย แต่จะมีคาเมวไว้สำหรับไว้คอยตรวจเช็คระดับน้ำกรด และ ระดับไฟชาร์จ

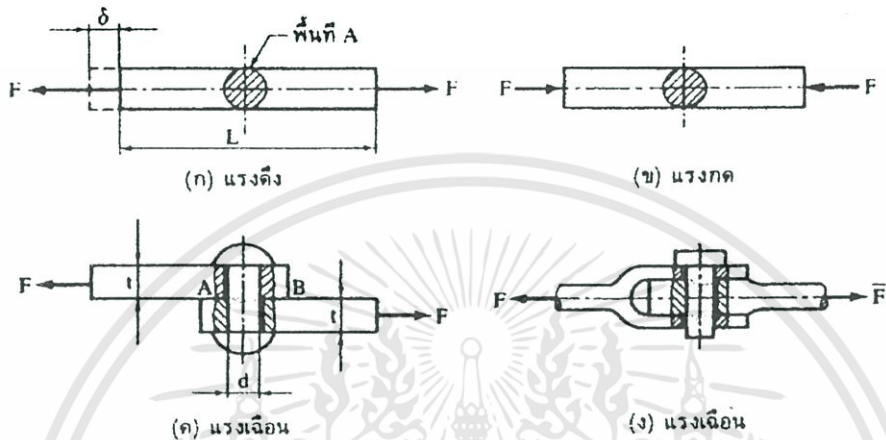
### 2.4.1 ข้อควรระวังในการใช้งานแบตเตอรี่

หมั่นทำความสะอาดบนฝาและขั้วของแบตเตอรี่ เพราะความชื้นและผงละอองจะทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างขั้วได้ ฝาที่เติมน้ำกรดต้องปิดให้แน่นถ้ามีสนิมเขียวติดที่ขั้วและเมื่อทิ้งไว้นานๆ จะทำให้รอยต่อระหว่างขั้วกับสายไฟไม่สนิท กระแสไฟไหลไม่สะดวกควรใช้ผ้าชุบน้ำยาแอมโมเนียหรือโซดา ทำความสะอาดแล้วใช้ผ้าแห้งเช็ดที่ขั้วโลหะ เช็ดแบตเตอรี่ให้สะอาดและแห้งอยู่เสมอ (ต้องใช้ผ้าแห้งที่สะอาด) ระดับน้ำกรดในเซลล์ต้องหมั่นตรวจอยู่เสมอ ถ้าระดับน้ำกรดต่ำเกินกว่าที่กำหนดก็เปิดฝาดูแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ระดับ ระวังอย่าเติมน้ำกรดสูงกว่าแผ่นธาตุ 3/8 นิ้ว จะทำให้น้ำกรดรั่วออกมาข้างนอกได้ เมื่อเติมแล้วจะปิดฝานั่นไม่ควรใช้แบตเตอรี่จนกระทั่งแรงไฟตกต่ำกว่า 2 ใน 3 ของอัตรา

## 2.5 ทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ

### 2.5.1 ความเค้น (Stress) [10]

นิยามของความเค้น คือ แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง ความเค้นอย่างง่ายมีอยู่ 3 ชนิด คือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน



รูปที่ 2.40 แรงชนิดต่างๆ

พิจารณาจากรูปที่ 2.40 (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นท่อนโลหะกลมอยู่ภายใต้แรงดึง และแรงกดตามลำดับ จะได้ความเค้นดึง คือ

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (2.17)$$

โดยที่  $\sigma_t$  คือ ความเค้นดึง มีหน่วยเป็น  $N/m^2$

$F$  คือ แรงกระทำ มีหน่วยเป็น  $N$

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น  $m^2$

และได้ความเค้นกดคือ

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.18)$$

โดยที่  $\sigma_c$  คือ ความเค้นกด มีหน่วยเป็น  $N/m^2$

ในกรณีที่แผ่นโลหะยึดติดกันด้วยหมุดย้ำ ดังรูปที่ 2.40 (ค) ตัวหมุดย้ำอาจจะขาดเนื่องจากแรงเฉือนกระทำที่หน้าตัด AB ถ้าพื้นที่ของหน้าตัดของหมุดย้ำเท่ากับ A ความเค้นเฉือนในหน้าตัดของหมุดย้ำคือ

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.19)$$

โดยที่  $\tau$  คือ ความเค้นเฉือน มีหน่วยเป็น  $N/m^2$

ถ้าหน้าตัดของชิ้นงานที่รับแรงเฉือนมีมากกว่าหนึ่งแห่ง ดังเช่นรูปที่ 2.40 (ง) ซึ่งมีพื้นที่สองแห่งที่รับแรงคือ 2A ในกรณีนี้เรียกว่าหมุดย้ำรับแรงเฉือนคู่ (Double Shear) เพราะฉะนั้นความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัดหมุดย้ำ คือ

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (2.20)$$

พิจารณาหมุดย้ำในรูปที่ 2.40 (ค) จะเกิดการอัดกันระหว่างด้านข้างของตัวหมุดย้ำกับแผ่นโลหะด้วยความเค้นที่ผิวโลหะที่สัมผัสกันนี้จะไม่สม่ำเสมอมากนัก ในทางปฏิบัติจึงหาความเค้นกดนี้โดยใช้พื้นที่ฉายของส่วนที่อัดกันอยู่แทนการใช้พื้นที่จริงรอบหมุดย้ำ และมีชื่อเรียกว่าความเค้นอัด (Bearing Stress) ความเค้นอัดนี้คือ

$$\sigma_c = \frac{F}{dt} \quad (2.21)$$

โดยที่  $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดย้ำ มีหน่วยเป็น  $m$

$t$  คือ ความหนาของแผ่นโลหะ มีหน่วยเป็น  $m$

### 2.5.2 ความเครียด (Strain) [10]

ความเครียด หมายถึง อัตราส่วนระหว่างส่วนที่ยืดหรือหดของวัตถุกับความยาวเดิม จากรูปที่ 2.40 (ก) ส่วนที่ยืดออกเนื่องจากแรงดึง  $F$  เท่ากับ  $\delta$  เพราะฉะนั้นความเครียดนี้จะเท่ากับ

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.22)$$

โดยที่  $\varepsilon$  คือ ความเครียด

$\delta$  คือ ส่วนที่วัตถุยืดออก มีหน่วยเป็น  $m$

$L$  คือ ความยาวเดิมของวัตถุ มีหน่วยเป็น  $m$

จากกฎของฮุก

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.23)$$

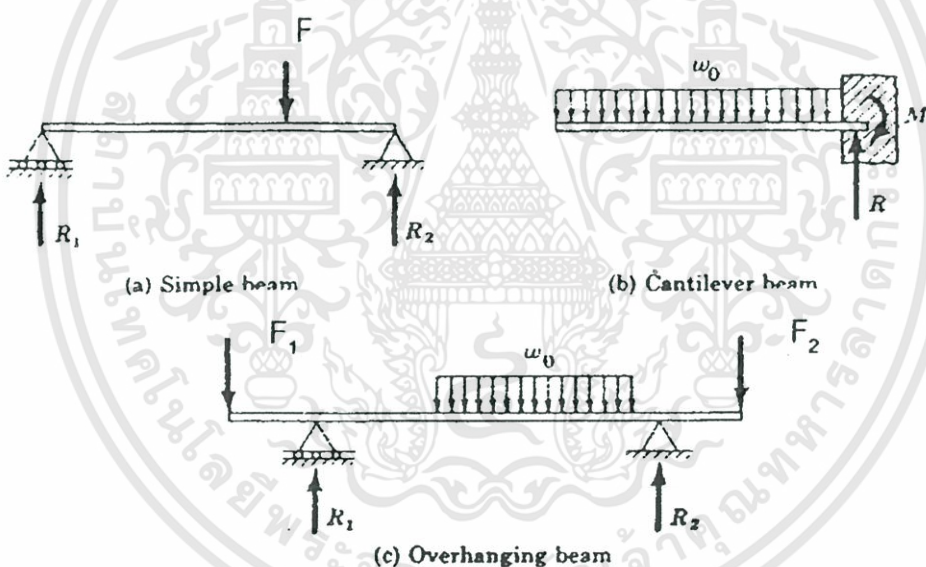
โดยที่  $E$  คือ โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น  $N/m^2$

แต่  $\sigma = F/A$  เพราะฉะนั้นเมื่อแทนค่า  $E$  จากสมการ 2.22 ลงในสมการ 2.23 จะได้ว่า

$$\delta = \frac{FL}{AE} \quad (2.24)$$

### 2.5.3 แรงเฉือนและโมเมนต์บิดในคาน (Shear and Moment In Beam) [14]

ในการศึกษาภาระที่กระทำกับชิ้นงานในลักษณะโมเมนต์ค้ำค โดยจะมีแรงกระทำในคานเป็นแรงกระทำด้านขวางหรือตั้งฉากกับแกน อิทธิพลของภาระที่กระทำแบบนี้จะทำให้เกิดแรงเฉือน (Shearing Force) และโมเมนต์ค้ำค (Bending Moment) เกิดขึ้น ซึ่งแรงเฉือนจะทำให้เกิดความเค้นเฉือน (Shearing Stress) และโมเมนต์ค้ำคจะทำให้เกิดความเค้นค้ำค (Bending Stress) ซึ่งลักษณะของแรงที่มากกระทำหรือภาระของคานนั้นแยกได้เป็นสองลักษณะด้วยกัน คือ แรงเข็มหรือภาระเข็ม (Concentrated Load) ซึ่งการกระทำของแรงจำพวกนี้ที่จริงแล้วก็กระทำบนพื้นที่หนึ่งเหมือนกัน แต่ว่าพื้นที่นั้นเล็กมากจนกล่าวได้ว่าแรงกระทำเป็นจุด ดังรูปที่ 2.41 (ก) อีกลักษณะหนึ่งคือ แรงกระจาย (Distributed Load) ซึ่งเป็นภาระที่กระทำเป็นพื้นที่ในช่วงความยาวอันใดอันหนึ่งดังรูปที่ 2.41 (ข) และ 2.41 (ค) โดยการกระจายของแรงอาจจะเป็นแบบสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้



รูปที่ 2.41 ชนิดของคานซึ่งใช้สถิตยศาสตร์แก้ปัญหาได้

### 2.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่กระทำ แรงเฉือน และโมเมนต์ค้ำค [14]

ความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่กระทำ แรงเฉือน และโมเมนต์ค้ำค จะนำไปใช้ในการเขียนแผนภาพแรงเฉือน (Shearing Force Diagram, SFD) และแผนภาพโมเมนต์ค้ำค (Bending Moment Diagram, BMD) โดยวิธีการเขียน SFD และ BMD มีแนวคิดดังต่อไปนี้คือ

1. คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ
2. คำนวณหาแรงเฉือนตรง โดยเลือกส่วนตัดของคานแต่ละช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ โดยในแต่ละช่วงนั้นจะเลือกแผนภาพอิสระของส่วนตัดของคานด้านซ้ายพิจารณาแรงเฉือนในคาน และใช้สมการ 2.25 คือ

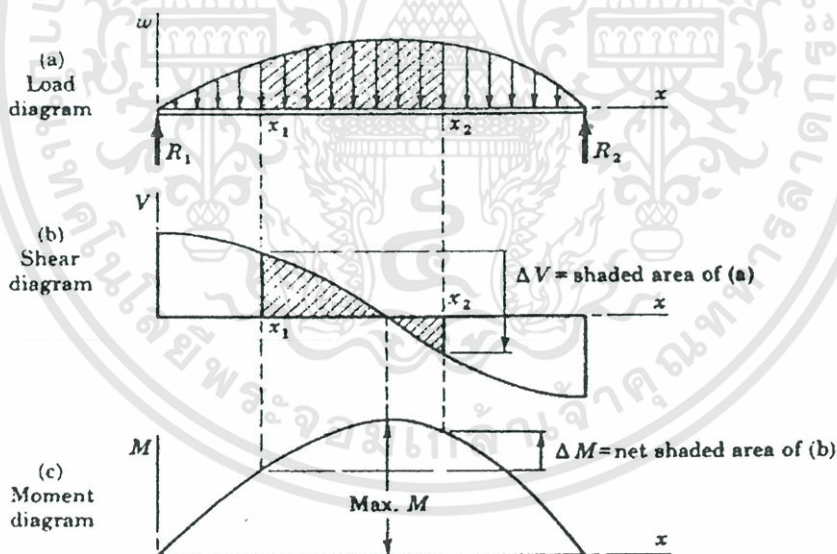
$$V = (R_y)_L \quad (2.25)$$

3. นำผลการคำนวณของแรงเฉือนในขั้นตอนที่ 2 มาเขียน SFD พร้อมคำนวณตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์
4. คำนวณหาโมเมนต์ค้ด โดยเลือกแผนภาพอิสระของส่วนตัดของคานด้านซ้าย และหาโมเมนต์ค้คบนหน้าตัดของคานจากสมการ 2.26 คือ

$$M = (\Sigma M)_L \quad (2.26)$$

5. นำผลการคำนวณของโมเมนต์ค้คในขั้นตอนที่ 2 มาเขียน BMD พร้อมหาโมเมนต์สูงสุดหรือต่ำสุดที่ตำแหน่งแรงเฉือนเป็นศูนย์

โดยตัวอย่างการเขียนความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่กระทำ แรงเฉือน และ โมเมนต์ค้ค ดังแสดงในรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่กระทำ แรงเฉือน และ โมเมนต์ค้ค

### 2.5.5 การวิเคราะห์ความเค้นในคาน (Analysis Of Stresses In Beams) [14]

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์ค้คและความเค้นที่เกิดขึ้น ในการหาสูตรหรือความสัมพันธ์จะต้องมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ระนาบของภาคตัดของคานยังคงเป็นระนาบหลังจากที่คานแอ่นตัวแล้ว
2. วัสดุที่ใช้ทำคานเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน (Homogeneous) และเป็นไปตามกฎของฮุก (Hooke's Law)
3. คุณสมบัติของโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ขณะที่วัสดุโดนแรงดึงและแรงกดต้องเหมือนกัน
4. คานมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีพื้นที่หน้าตัดคงที่
5. ระนาบของแรงกระทำกับคานจะต้องผ่านแนวแกนของคาน และผ่านแนวแกนหลักของหน้าตัด และภาระควรจะต้องตั้งฉากกับแกนของคาน

ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์คด เรียกว่า ความเค้นคด (Bending Stress) และความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คดกับความเค้นที่เกิดขึ้นจะวิเคราะห์เขียนขึ้นมาเป็นสูตร ซึ่งเรียกว่าสูตรการแอ่น (Flexure Formula) และเป็นพื้นฐานในการออกแบบได้โดยมีสูตรดังนี้

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (2.27)$$

โดยที่	$\sigma$	คือ	ความเค้น มีหน่วยเป็น $N/m^2$
	$M$	คือ	โมเมนต์คด มีหน่วยเป็น $N.m$
	$y$	คือ	ระยะจากแกนสะเทินไปยังระดับที่ต้องการหาความเค้น มีหน่วยเป็น $m$
	$I$	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ มีหน่วยเป็น $m^4$

ซึ่งหมายความว่าภาคตัดหนึ่งๆจะแปรผันโดยตรงกับระยะทางที่ห่างจากแกนสะเทิน (Neutral Axis) โดยทั่วไปจะสนใจตรงที่เกิดความเค้นมากที่สุด ซึ่งจะให้ค่า  $y$  เป็นค่า  $c$  ซึ่งต้องเป็นชั้นที่อยู่ห่างจากแกนสะเทินมากที่สุด ฉะนั้นจะได้ค่าความเค้น คือ

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.28)$$

โดยที่  $c$  คือ ระยะจากแกนสะเทินไปยังผิวนอกสุด มีหน่วยเป็น  $m$   
 ในที่นี้กำหนดให้  $Z = I/c$  ซึ่งเรียกว่าโมดูลัสหน้าตัด (Section Modulus) ดังนั้น

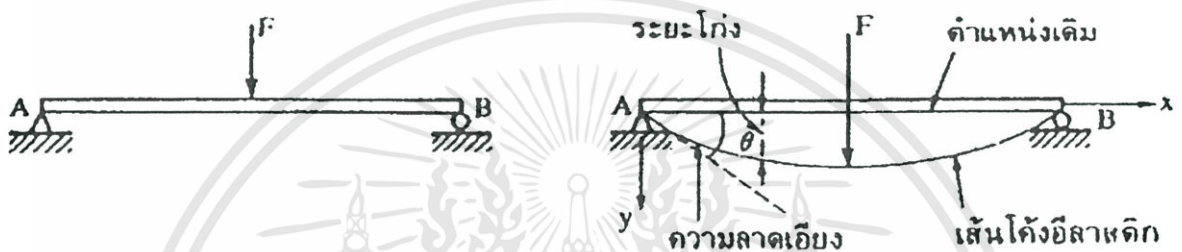
$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (2.29)$$

โดยที่  $Z$  คือ โมดูลัสหน้าตัด มีหน่วยเป็น  $m^3$   
 รูปแบบในสมการนี้จะสะดวกสำหรับคานที่มีหน้าตัดคงที่ เพราะจะเห็นได้ว่าความเค้นคดจะมีค่ามากที่สุดตรงภาคตัดที่รับโมเมนต์คดสูงสุด

## 2.5.6 การโก่งของคาน (Beam Deflection) [13]

ข้อสมมติฐานในการคำนวณหาระยะโก่งของคาน มีดังนี้

1. ก่อนที่คานจะรับน้ำหนักหรือแรงภายนอก คานต้องอยู่ในแนวตรงระดับเดียวกับแนวระดับเสมอ
2. การโก่งของคานจะคิดเฉพาะแรงเนื่องจาก โมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว
3. ความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักหรือแรงที่กระทำจะต้องไม่เกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น
4. ระนาบของหน้าตัดคานก่อนรับและหลังรับ โมเมนต์ดัดจะยังคงเป็นระนาบเดิม
5. การโก่งของคานจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวของคาน

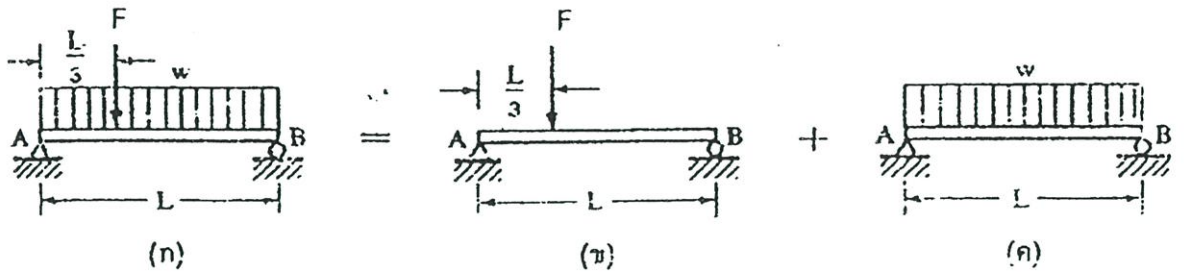


รูปที่ 2.43 การโก่งของคาน

### 2.5.6.1 การคำนวณการโก่งของคานด้วยวิธีการซ้อนทับ [6]

ในกรณีที่คานรับน้ำหนักหลายชนิดและหลายแบบ การคำนวณการโก่งของคานหรือความลาดเอียงที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นโค้งอีลาสติค โดยวิธีซ้อนทับเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยแยกน้ำหนักที่กระทำออกเป็นส่วนๆ ซึ่งแต่ละส่วนของน้ำหนักที่แยกออกนี้สามารถคำนวณค่าของมุมหรือความลาดเอียงและการโก่งของคานได้ทันทีจากสูตร หรือตารางสำเร็จที่มีไว้สำหรับคานแบบต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ในตาราง ข.3

ตัวอย่างการใช้วิธีการซ้อนทับ เช่นคานดังรูปที่ 2.44 ซึ่งคานนี้รับน้ำหนัก  $F$  และมีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ  $w$  ตลอดความยาว ในการใช้วิธีการซ้อนทับจะแยกรูปออกเป็นรูปที่ 2.44 (ข) และ (ค) โดยที่แต่ละรูปจะคำนวณหาค่ามุมลาดเอียงหรือระยะโก่งที่จุดตามที่ต้องการได้ทันทีจากตารางสำเร็จ โดยสมมติว่าน้ำหนักแต่ละส่วนที่แยกออกนั้นกระทำบนคานที่อยู่ในตำแหน่งเดิมเสมอ ค่ามุมลาดเอียงหรือระยะโก่งที่จุดในรูปที่ 2.44 (ก) จะได้ผลรวมของค่ามุมลาดเอียงหรือระยะโก่งของจุดนั้นจากรูปที่ 2.44 (ข) และ (ค) รวมกัน



รูปที่ 2.44 ตัวอย่างการคำนวณการโก่งของคานด้วยวิธีซ้อนทับ

## 2.6 เสา (Column) [10]

เสามีลักษณะเป็นท่อนตรงและรับแรงกดในแนวแกน ถ้าแรงมีค่าไม่มากนักเสาก็เรียวยาวก็ยังคงอยู่สภาพที่ตรงได้ แต่ถ้าเพิ่มแรงขึ้นถึงค่าหนึ่งเสาดังกล่าวก็อาจเกิดการโก่งงอ (Buckling) แรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอนี้เรียกว่า แรงวิกฤต (Critical Load) ความเค้นที่เกิดขึ้นในเสาชณะที่เริ่มเกิดการโก่งงออาจต่ำกว่าความเค้นใช้งานก็ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการโก่งงอขึ้นแล้ว ชิ้นงานนั้นก็ไม่สามารถที่จะทำหน้าที่ได้ตามต้องการ ฉะนั้นการออกแบบจึงอาจจะจำกัดแรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอ แทนที่จะจำกัดความเค้น สูตรที่ใช้กับเสาจะจำแนกออกตามอัตราส่วนความเพรียว (slenderness Ratio)  $L_e/k$

เนื่องจากการออกแบบเสาที่อาจจะเกิดการโก่งงอจะจำกัดแรงกดแทนที่จะจำกัดความเค้น ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงกด ถ้าให้  $F_c$  เป็นแรงวิกฤต เพราะฉะนั้นแรงกดใช้งาน คือ  $F = F_c/N$  เมื่อ N คือค่าความปลอดภัย สำหรับเสาที่มีขนาดยาวจะนิยมใช้สูตรออยเลอร์ (Euler) คือ

$$F = \frac{\pi^2 EA}{N(L_e/k)^2}$$

หรือ

$$F = \frac{\pi^2 EI}{NL_e^2} \quad (2.30)$$

โดยที่	F	คือ	แรงกระทำ มีหน่วยเป็น N
	N	คือ	ค่าความปลอดภัย
	$L_e$	คือ	ความยาวสมมูล มีหน่วยเป็น m
	E	คือ	โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น $N/m^2$
	I	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด มีหน่วยเป็น $m^4$

ซึ่งถ้าเป็นเหล็กโครงสร้างแล้วจะใช้สูตรของออยเลอร์เมื่ออัตราส่วนความเพรียวมากกว่า 115 จากสูตรจะเห็นได้ว่าเสาสงจะเกิดการโก่งงอรอบแกน ซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด หรือรัศมีไจเรชันมีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับเสายาวนี้ ในการออกแบบเครื่องกลแนะนำให้ใช้ประมาณ 3.5

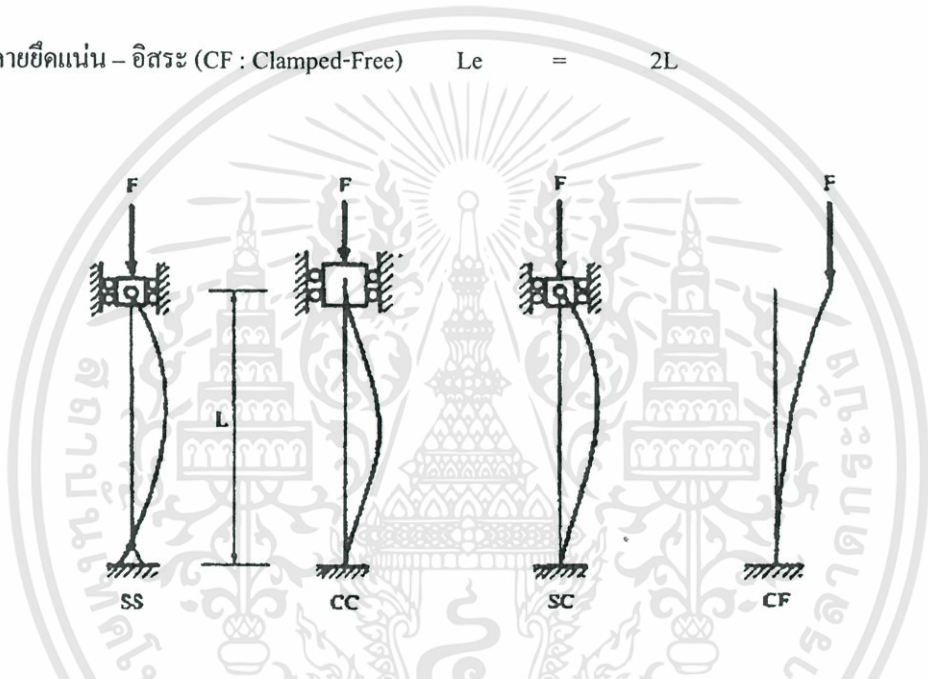
สำหรับค่าความยาวสมมูลนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายชิ้นงานที่ยึดอยู่ ดังรูปที่ 2.45

ปลายยึดแบบธรรมดา (SS : Simply Supported)  $L_e = L$  (2.31)

ปลายยึดแน่นสองข้าง (CC : Clamped)  $L_e = L/2$  (2.32)

ปลายยึดแบบธรรมดา – ยึดแน่น (SC : Simply Supported – Clamped)  
 $L_e = 0.707L$  (2.33)

ปลายยึดแน่น – อิสระ (CF : Clamped-Free)  $L_e = 2L$  (2.34)



รูปที่ 2.45 การยึดปลายเสาด้วยวิธีต่างๆ

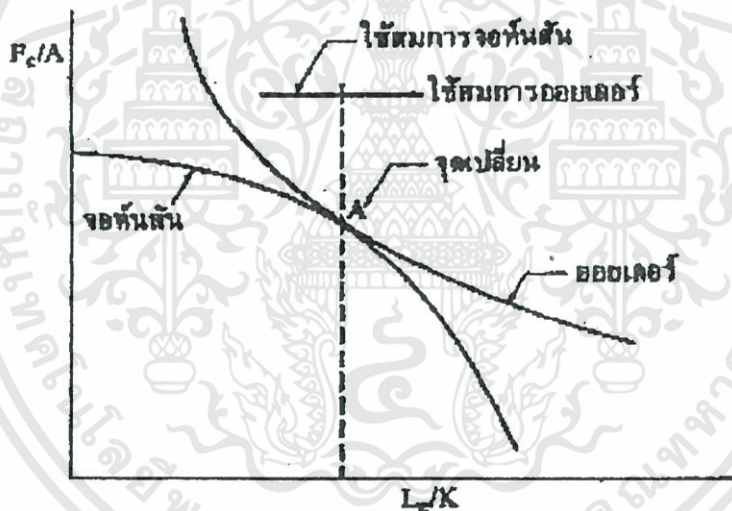
จะเห็นได้ว่าปลายแบบ CC มีความแข็งแรงสูงสุดและปลายแบบ CF รับแรงกดได้น้อยที่สุด ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเสา ปลายมักจะเป็นแบบ SS, SC หรือ CF ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะที่แท้จริงของชิ้นงานนั้น

สำหรับเสาที่มีขนาดสั้นลงมาก สูตรของออยเลอร์จะใช้งานได้ไม่ดีนึก ทั้งนี้เพราะความเสียหายที่แท้จริงอาจจะเนื่องมาจากผลของการโก่งงอ และการที่ความเค้นในเสากินขีดจำกัดยืดหยุ่นพร้อมกัน ในกรณีเช่นนี้ ผู้ออกแบบมักจะนิยมใช้สูตรของจอห์นสัน (Johnson) หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสูตรพาราโบลา (Parabolic Formula) คือ

$$F = \frac{\sigma_y A}{N} \left[ 1 - \frac{\sigma_y (L_e / k)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (2.35)$$

โดยที่	F	คือ	แรงกระทำ มีหน่วยเป็น N
	$\sigma_y$	คือ	ความต้านแรงดึงคราก มีหน่วยเป็น $N/m^2$
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น $m^2$
	N	คือ	ค่าความปลอดภัย
	Le	คือ	ความยาวสมมูล มีหน่วยเป็น m
	k	คือ	$\left(\frac{I}{A}\right)^{1/2}$ รัศมีจายเรชัน มีหน่วยเป็น m
	E	คือ	โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น $N/m^2$

สำหรับเหล็กโครงสร้างจะใช้สูตรของจอร์จสันเมื่ออัตราส่วนความเพริวยมีค่าประมาณ  $40 < Le/k \leq 115$  เนื่องจากเส้นกราฟของออยเลอร์และจอร์จสันจะสัมผัสกันที่จุด A ดังรูปที่ 2.46 ซึ่งเรียกว่าจุดเปลี่ยน (Transition Point) และค่า  $Le/k = 115$  ดังกล่าวมาแล้วก็คือค่าประมาณที่จุด A นี้ เพราะฉะนั้นสำหรับวัสดุอื่นๆที่มีค่า E แตกต่างกันไปอีกมาก ก็อาจจะหาจุดเปลี่ยนเพื่อเลือกใช้สูตรที่ถูกต้องต่อไป

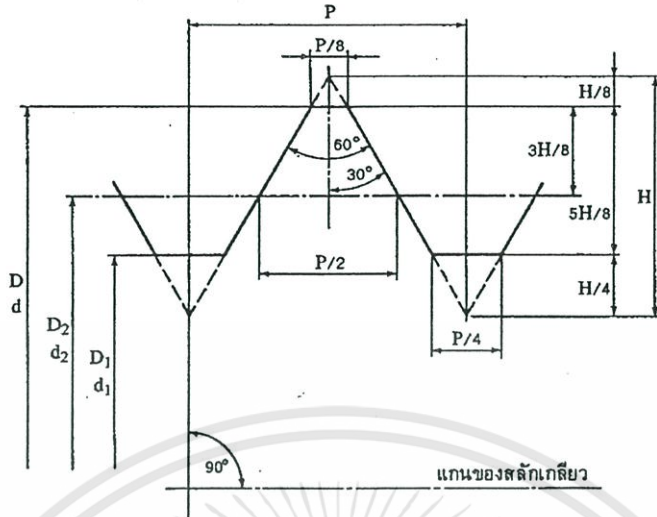


รูปที่ 2.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอัตราส่วนความเพริวย จากสูตรของออยเลอร์และจอร์จสัน

## 2.7 สลักเกลียว (Bolt) [10]

### 2.7.1 แบบของเกลียว

เพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนชิ้นส่วนของรอยต่อสลักเกลียว องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) จึงได้กำหนดมาตรฐานของสลักเกลียวเป็นหน่วยระหว่างประเทศขึ้น ลักษณะเกลียวสำหรับใช้งานทั่วไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO/R 68-1969 (E) มีแบบรากฐานของเกลียวดังรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 แบบรากฐานของเกลียว

เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ (D,d) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตที่สุดของเกลียว การบอกขนาดเกลียวมักจะบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ของเกลียว สัญลักษณ์ที่ใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่หมายถึงขนาดของเกลียวใน อักษรตัวพิมพ์เล็กหมายถึงขนาดของเกลียวนอก

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกลียว ( $D_2, d_2$ ) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่อยู่กึ่งกลางระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กับเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลียว

เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย ( $D_1, d_1$ ) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุดของเกลียว หรืออาจเรียกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียว

ระยะพิตช์ (P) เป็นระยะที่วัดตามแนวแกนของเกลียวจากจุดจุดหนึ่งบนเกลียวหนึ่ง ไปยังอีกจุดหนึ่งที่สมนัยกับอีกเกลียวหนึ่ง

ความสูงของสามเหลี่ยมมุมฐาน (H) เป็นระยะที่วัดตั้งฉากกับแกนของเกลียวจากโคนเกลียวถึงยอดเกลียว ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสามเหลี่ยมมุมฐานกับระยะพิตช์ คือ

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} P = 0.866025404P$$

$$\frac{5}{8} H = 0.541265877P$$

$$\frac{3}{8} H = 0.324759526P$$

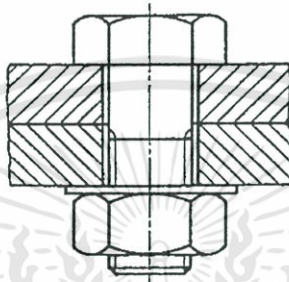
$$\frac{1}{4} H = 0.216506351P$$

$$\frac{1}{8} H = 0.108253175P$$

ค่าต่างๆเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญพื้นฐานในการกำหนดขนาด และสัดส่วนของเกลียว

### 2.7.2 สลักเกลียวและแป้นเกลียว (Bolt and Nut)

สลักเกลียวเป็นแท่งทรงกระบอก ปลายข้างหนึ่งมีเกลียวและอีกข้างหนึ่งมีหัวสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยม หัวนี้มีไว้สำหรับจับเพื่อหมุนสลักเกลียว หรือยึดสลักเกลียวไว้เพื่อหมุนแป้นเกลียวให้ยึดชิ้นงานดังรูปที่ 2.48 การยึดด้วยสลักเกลียวหรือแป้นเกลียวนี้ ใช้กับบริเวณที่สามารถหมุนหัวเกลียวของสลักเกลียวและแป้นเกลียวได้สะดวก เช่น รอยต่อด้วยหน้าแปลน นิยมใช้ยึดด้วยสลักเกลียวเพราะเมื่อขันแน่นแล้วลำตัวของสลักเกลียวอยู่ภายในแรงดึงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนใหม่ได้ง่ายถ้าสลักเกลียวขาดหรือเกลียวขาด



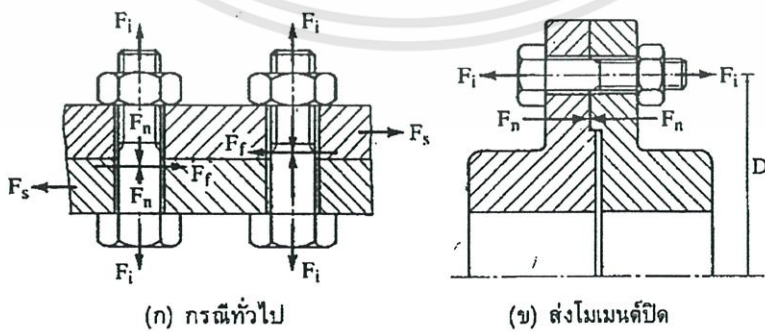
รูปที่ 2.48 สลักเกลียวและแป้นเกลียว

### 2.7.3 ความเค้นที่รอยต่อด้วยเกลียว

รอยต่อด้วยเกลียวจะเสียหายได้หลายประการ เช่น สลักเกลียวขาดด้วยแรงเฉือน เกลียวขาด เป็นต้น แต่การเสียหายส่วนมากเกิดขึ้นจากตัวของสลักเกลียวขาด ซึ่งมักจะขาดใกล้บริเวณหัว ด้วยเหตุนี้เองการคำนวณออกแบบส่วนใหญ่จึงเป็นการหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสลักเกลียว

#### 2.7.3.1 รอยต่อมีความเครียด รับแรงเฉือนจากภายนอก

ในกรณีนี้แรงภายนอกกระทำตั้งฉากกับแกนของสลักเกลียว ทำให้สลักเกลียวอยู่ภายใต้ความเค้นเฉือน ดังรูปที่ 2.49 แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นงานจะทำหน้าที่รับแรงเฉือนจากภายนอก  $F_s$  เอาไว้ ดังนั้น จึงต้องมีแรงขันคั้นมากชิ้นงานไว้ให้มากเพียงพอจนกระทั่งแรงเสียดทาน  $F_r$  มากกว่า  $F_s$



(ก) กรณีทั่วไป

(ข) สลักไม่เมนต์ปิด

รูปที่ 2.49 รอยต่อด้วยสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงเฉือน

เมื่อต้องการส่งโมเมนต์บิด T เช่น คัปปลิง ดังรูปที่ 2.49 (ข.) แรงในแนวเส้นสัมผัสที่เกิดขึ้นบนเส้นรอบวงของฝาคัปปลิงส่วนที่เจาะรูร้อยสลักเกลียว จะทำให้เกิดแรงเฉือนบนสลักเกลียวซึ่งหาค่าได้จาก  $F_s = 2T/D$  เมื่อ D เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมที่เจาะรูร้อยสลักเกลียว

แรงดึงขั้นต้นเพื่อทำให้มีแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นงานเพียงพอที่จะรับแรงเฉือนไว้ได้ หาค่าได้จากสมการ

$$F_i = F_n \geq \frac{F_f}{z \times f} = \frac{F_s}{z \times f} \quad (2.36)$$

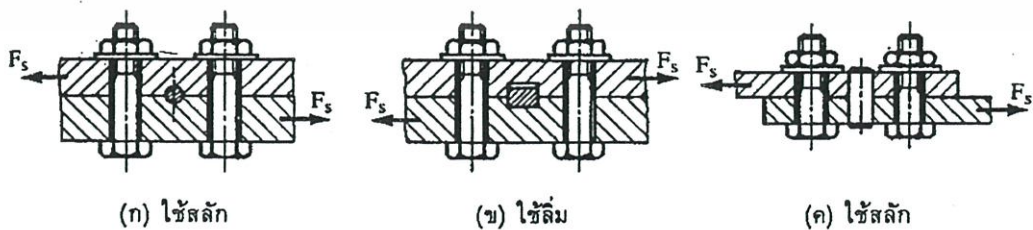
โดยที่	$F_i$	คือ	แรงดึงขั้นต้น มีหน่วยเป็น N
	$F_n$	คือ	แรงปฏิกิริยาดังฉากกับผิวสัมผัส มีหน่วยเป็น N
	$F_f$	คือ	แรงเสียดทานที่ผิวสัมผัส มีหน่วยเป็น N
	$F_s$	คือ	แรงเฉือนจากภายนอก มีหน่วยเป็น N
	z	คือ	จำนวนสลักเกลียว
	f	คือ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน หาค่าได้จากตาราง ข.4 ในภาคผนวก

ในการคำนวณหาขนาดของสลักเกลียว จะต้องพิจารณาทั้งความเค้นดึงและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียวโดยใช้ทฤษฎีความเสียหาย โดยที่

ความเค้นดึง 
$$\sigma_t = \frac{F_i}{A_s} \quad (2.37)$$

ความเค้นเฉือน 
$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (2.38)$$

สถานะที่สลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงในแนวตั้งฉากกับแกนสลักเกลียว เป็นสถานะที่ไม่พึงปรารถนาเนื่องจากต้องใช้สลักเกลียวขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมักหาวิธีที่จะลดแรงเฉือนที่กระทำกับสลักเกลียวโดยใช้ลิ้มหรือสลักไว้ที่รอยต่อ ดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 วิธีการลดแรงเฉือนที่กระทำกับสลักเกลียว

## 2.8 ล้อยางตัน [7]

ล้อยางตันนี้เป็นล้อยที่มีขนาดเล็ก มีลักษณะตันทำด้วยวัสดุประเภทยางหล่อหุ้มแกนหมุน เหมาะกับการใช้งานในอาคารเป็นส่วนใหญ่ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ใช้งานได้ดีกับพื้นที่ที่มีความราบเรียบ ล้อยางตันนี้ทำด้วยวัสดุหลายชนิดขึ้นกับการใช้งาน มีความคล่องตัวมากในการเคลื่อนย้ายและยังมีระบบล้อคล้อไม่ให้เคลื่อนที่ในกรณีที่ต้องการหยุดอยู่กับที่เป็นเวลานาน

### 2.8.1 ข้อดีของการใช้ล้อเดี่ยวแบบล้อกลม

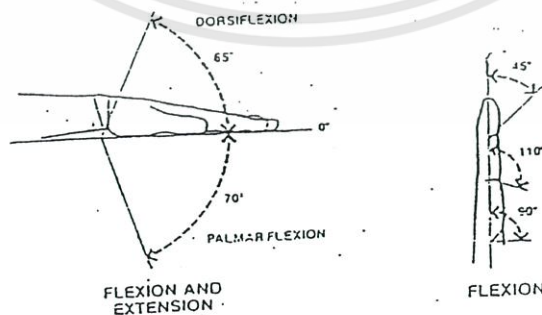
- สามารถเคลื่อนตัวได้ทุกทิศทาง
- สามารถเคลื่อนตัวได้รวดเร็ว
- มีจุดสัมผัสพื้นเป็นวงกลมจุดเล็กทำให้มีแรงต้านทานน้อย
- ดูแลทำความสะอาดง่าย

### 2.8.2 ข้อเสียของล้อเดี่ยวแบบล้อกลม

- จุดยึดมีหน้าสัมผัสพื้นน้อย ทำให้การทรงตัวไม่ดีเท่าที่ควร

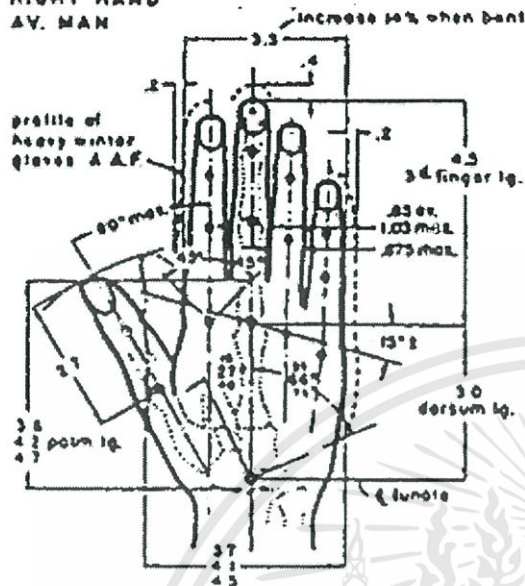
## 2.9 การยศาสตร์ (Ergonomics)

ขนาดสัดส่วนของร่างกายและการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆของร่างกายในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสำหรับกรขนย้ายวัสดุ ซึ่งมีความสำคัญกับการใช้งานเพื่อให้เป็นไปอย่างถูกต้องและเหมาะสม จึงต้องทำการศึกษาเรื่องสัดส่วนของร่างกายที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งได้แก่ส่วนของมือ มือขวาของเพศชายวัดความยาวตั้งแต่โคนฝ่ามือถึงปลายนิ้วกลาง ยาว 7.5 นิ้ว ความกว้างของฝ่ามือกว้าง 3.5 นิ้ว และนิ้วกลางยาว 4.5 นิ้ว สำหรับมือขวาของเพศหญิง วัดความยาวตั้งแต่โคนฝ่ามือถึงปลายนิ้วกลาง ยาว 6.9 นิ้ว ความกว้างของฝ่ามือกว้าง 2.9 นิ้ว และนิ้วกลางยาว 4.0 นิ้ว ความสามารถในการใช้นิ้วมือกดลงบนพื้นผิว นิ้วมนุษย์สามารถกดลงและโน้มลง ในลักษณะนิ้วตรงทำมุมกว้าง 90 องศา การหยิบจับสิ่งของด้วยนิ้วมือของมนุษย์ในลักษณะแนวตรงรัศมีมีความกว้างระหว่างแนวราบ ฝ่ามือ กับหลังมือ ประมาณ 35 องศา ในการจับรูปทรงที่เป็นแท่งกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว [12] ดังรูปที่ 2.52

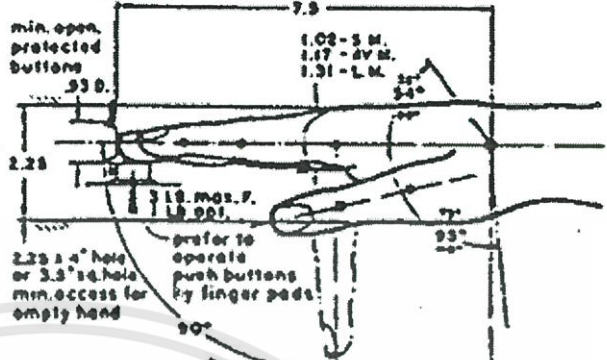


รูปที่ 2.51 ความสามารถในการงอข้อมือและความสามารถในการงอข้อนิ้ว

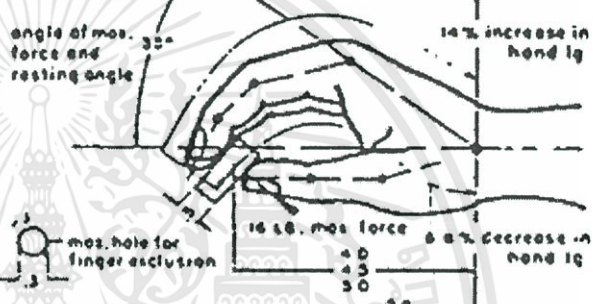
RIGHT HAND  
AV. MAN



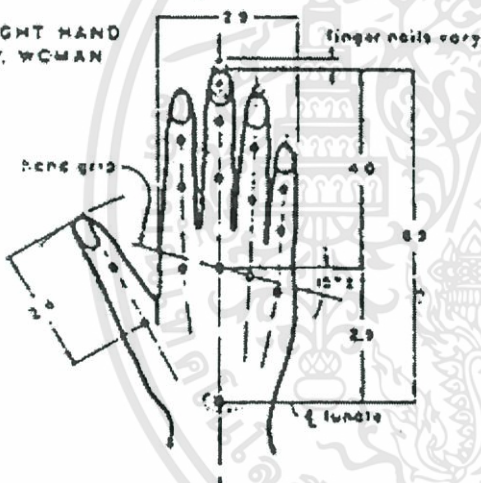
HAND POSITIONS - AVERAGE MAN  
MAX. REACH



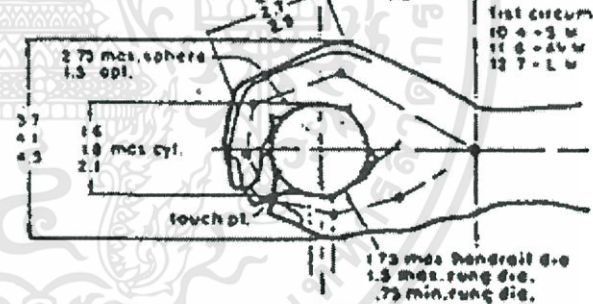
FINGER GRIP



RIGHT HAND  
AV. WOMAN



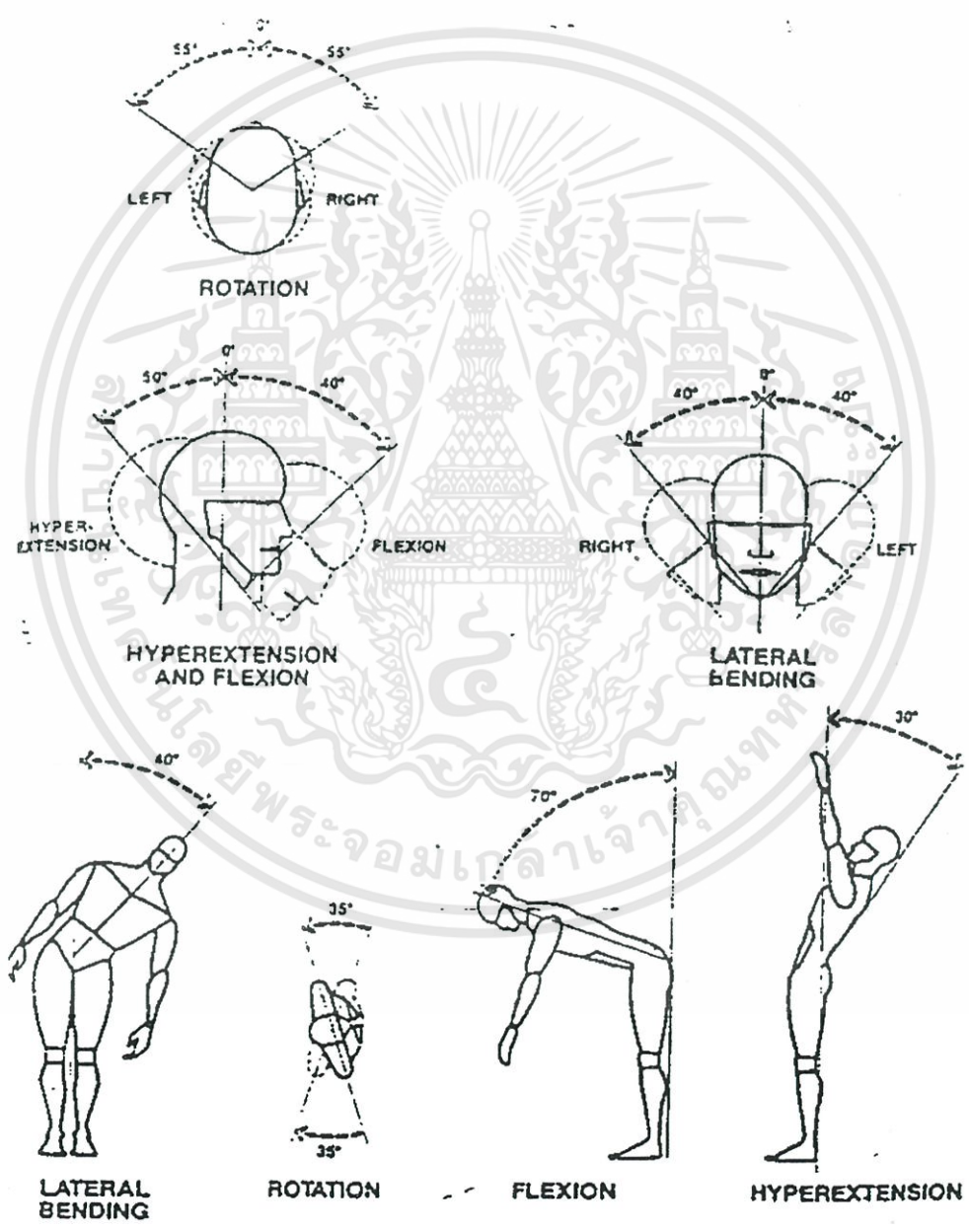
HAND GRASP



HAND DATA	MEN			WOMEN			CHILDREN			
	2.5 % tile	50 % tile	97.5%tile	2.5 % tile	50 % tile	97.5%tile	6 yr.	8 yr.	11 yr.	14 yr.
Hand length	6.8	7.5	8.2	6.2	6.9	7.5	5.1	5.6	6.3	7.0
Hand breadth	3.2	3.5	3.8	2.6	2.9	3.1	2.3	2.5	2.6	-
3 <sup>rd</sup> finger lg.	4.0	4.5	5.0	3.6	4.0	4.4	2.9	3.2	3.5	4.0
Dorsum lg.	2.6	3.0	3.2	2.6	2.9	3.1	2.2	2.4	2.6	3.0
Thumb length	2.4	2.7	3.0	2.2	2.4	2.6	1.6	2.0	2.2	2.4

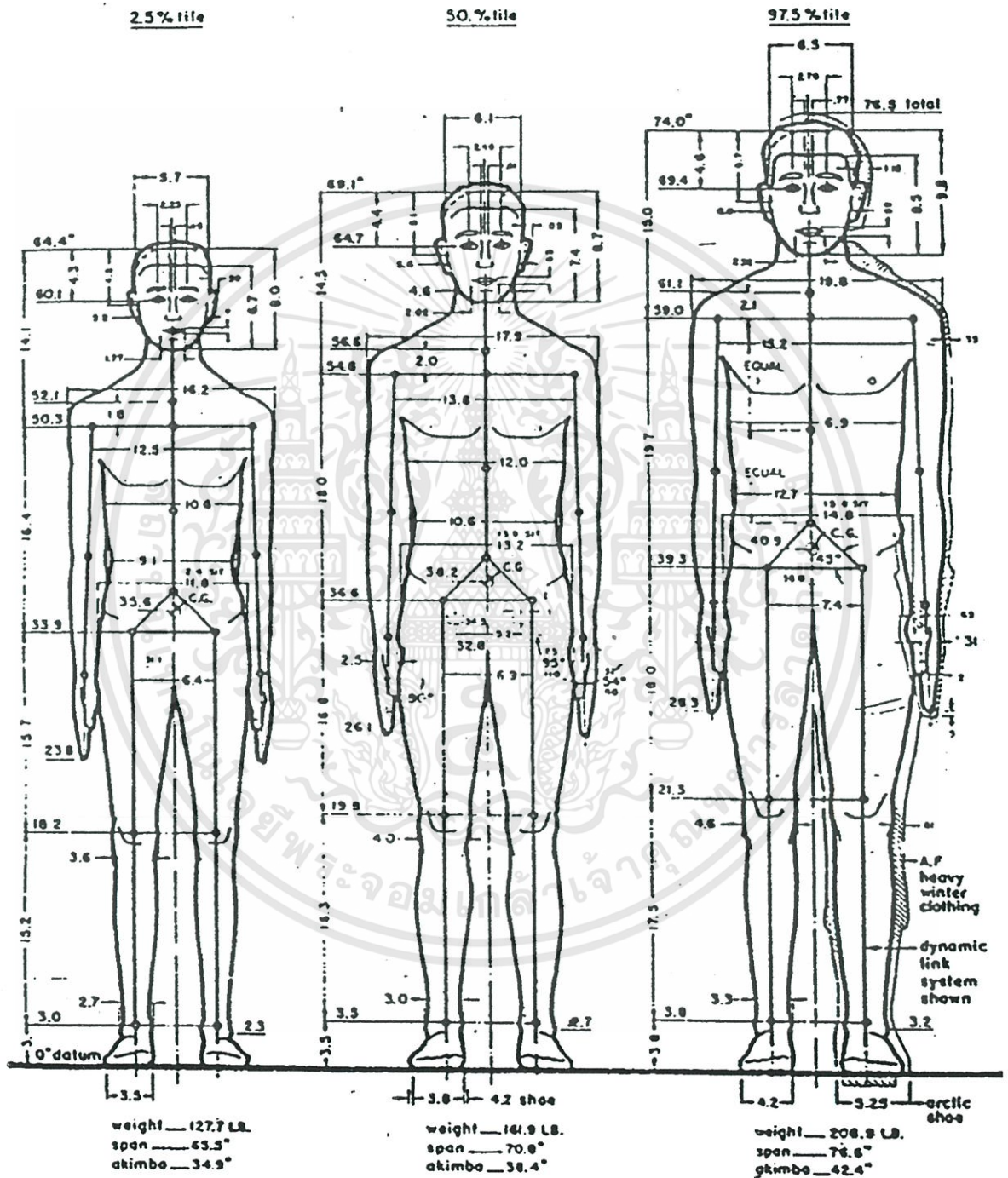
รูปที่ 2.52 ภาพและข้อมูลตัวเลขการวัดขนาดสัดส่วนมือของเพศชาย เพศหญิง และเด็ก

การเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์มีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้รถเข็น ความสามารถในการหันศีรษะทั้งทางซ้ายและขวาจะทำมุมกว้าง 50 องศา โดยจุดกึ่งกลางศีรษะเป็นจุดหมุน การก้มและเงยศีรษะ (Hyperextension Flexion) มนุษย์สามารถก้มส่วนของศีรษะทำมุมกว้าง 40 องศา การเงยศีรษะจะทำมุม 50 องศา สำหรับความสามารถในการเอียงศีรษะลงด้านข้างทั้งซ้ายและขวา (Lateral Bending) จะทำมุมกว้าง 40 องศา ในลักษณะที่ยืนตัวตรงเอียงตัวไปด้านข้างทั้งซ้ายและขวา จะทำมุมกว้าง 40 องศา และในขณะที่ยืนตัวตรงแล้วบิดตัวไปด้านข้าง (Rotation) ร่างกายจะทำมุมกว้าง 35 องศา ส่วนการก้มตัวในลักษณะที่หลังตรงจะทำมุม 70 องศา การเอียงลำตัวไปด้านหลังในขณะที่ยืนตรง (Hyperextension) จะทำมุมกว้าง 30 องศา ดังรูปที่ 2.53

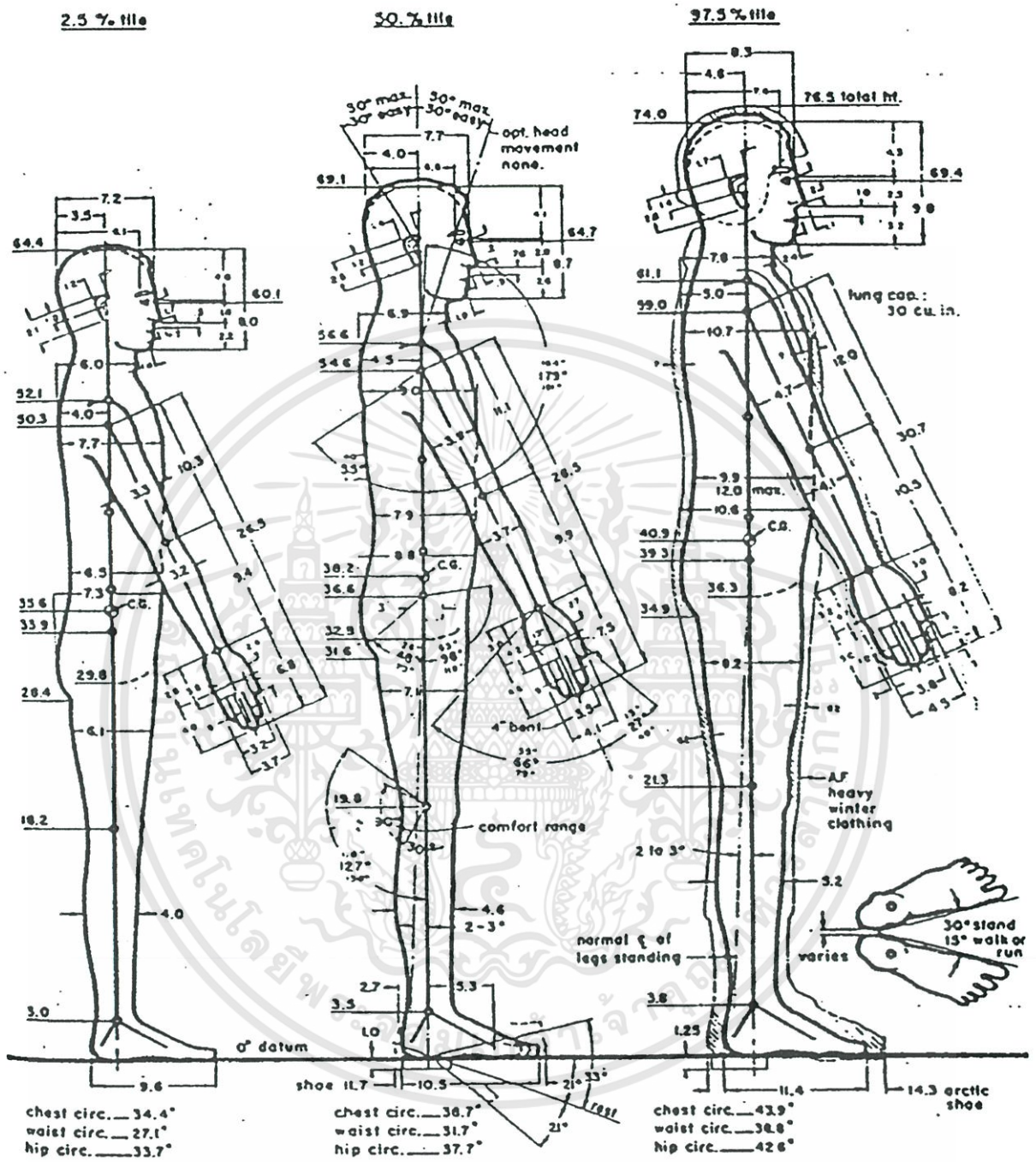


รูปที่ 2.53 การเคลื่อนไหวศีรษะและลำตัวของมนุษย์ในลักษณะต่างๆ [7]

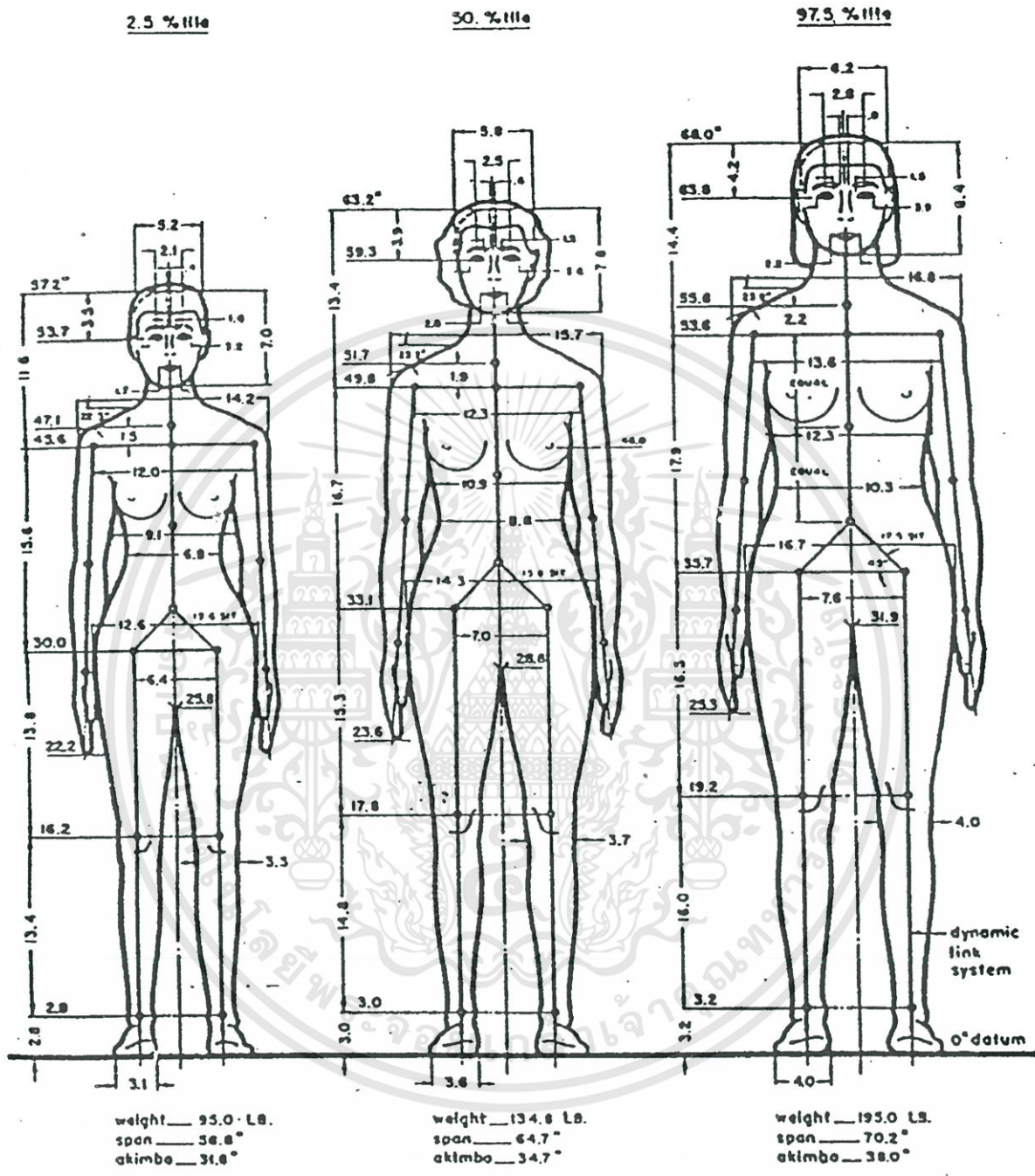
ความสูงและน้ำหนักของมนุษย์ทั้งเพศชายและหญิงมีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการทำงาน ความสูงและน้ำหนักของตัวมนุษย์จะแตกต่างกันโดยมีอายุเป็นข้อกำหนดดังแสดงในตารางที่ ผข.5, ผข.6 และ ผข.7



รูปที่ 2.54 ขนาดสัดส่วนทำขึ้นด้านหน้าของผู้ใหญ่เพศชายทั่วไป [9]



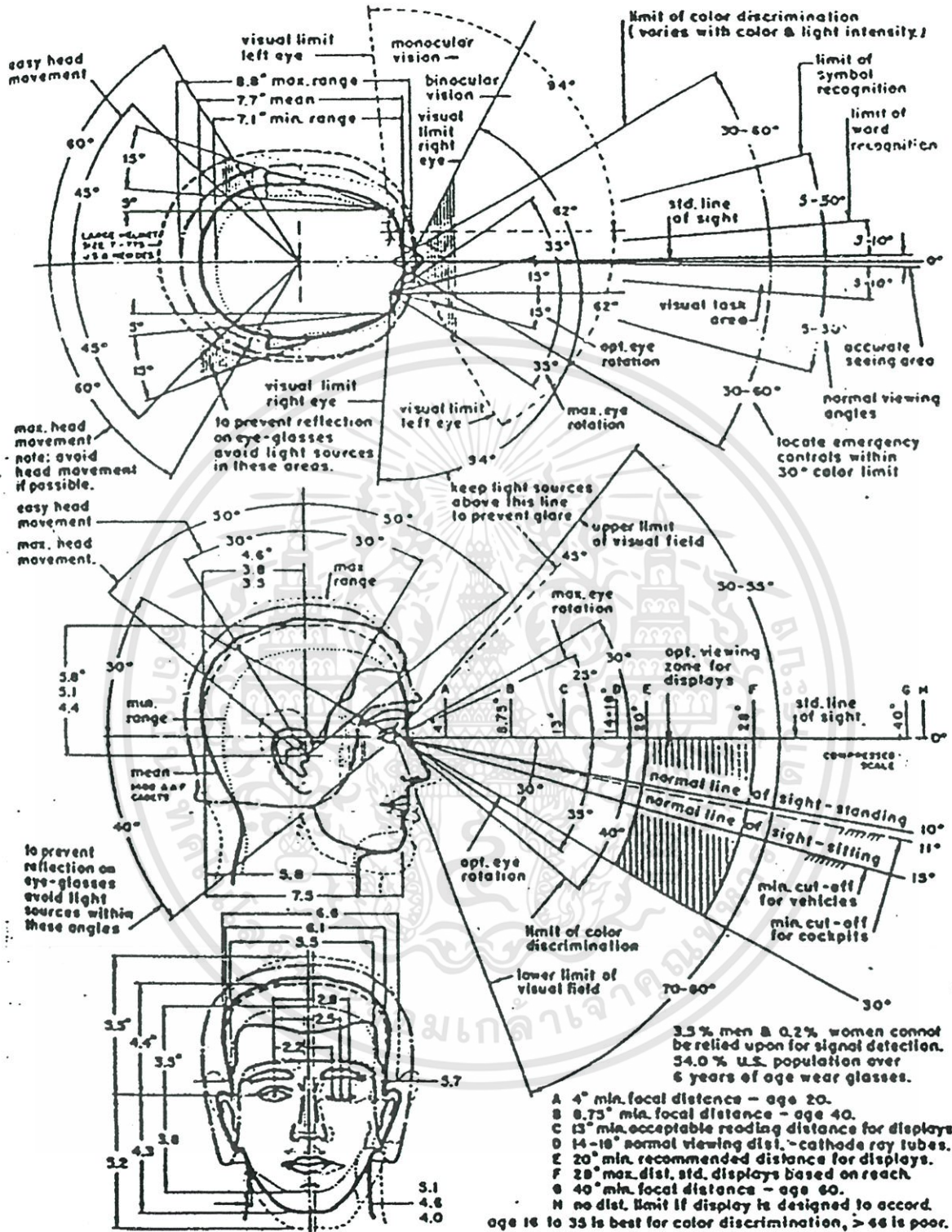
รูปที่ 2.55 ขนาดสัดส่วนทำขึ้นด้านข้างของผู้ใหญ่เพศชายทั่วไป [9]



รูปที่ 2.56 ขนาดสัดส่วนท่ายืนด้านหน้าของผู้ใหญ่เพศหญิงทั่วไป [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.58 ภาพและข้อมูลตัวเลขพื้นฐานเกี่ยวกับสายตามนุษย์ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายตาของมนุษย์เมื่อมองตรงจะเห็นภาพต่ำลงมาจากแนวระดับเป็นมุม 70 – 80 องศา และเห็นภาพสูงขึ้นไปจากแนวระดับ 50 – 55 องศา ในทางด้านข้างจะมองเห็นเป็นมุมกว้าง 94 องศาจากกึ่งกลางทั้งซ้ายและขวา [9]

### 2.9.1 สรุปวิเคราะห์รูปแบบและขนาดสัดส่วนในการจับ

ขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานของมือจับ สามารถแยกได้เป็นขนาดสำหรับใช้ 2 นิ้วในการเปิด การจับ หรือการหมุน

#### 2.9.1.1 ขนาดสัดส่วนของนิ้ว

- นิ้วโป้ง มีขนาดความกว้างประมาณ 1.5 – 2.0 cm
- นิ้วชี้ มีขนาดความกว้างประมาณ 1.2 – 1.5 cm

#### 2.9.1.2 สัดส่วนของการจับ

- นิ้วโป้ง และนิ้วกลางควรมีพื้นที่ 1.0 cm x 0.5 cm (ความสูง)
- นิ้วโป้ง และนิ้วชี้ควรมีพื้นที่ 1.7 cm x 0.5 cm (ความสูง)

#### 2.9.1.3 ลักษณะการจับหรือถือ

- ใช้ 2 นิ้วควรมีพื้นที่ 4.0 cm x 2.0 cm (ความสูง)
- ใช้ 5 นิ้วควรมีพื้นที่ 8.5 cm x 3.0 cm (ความสูง)

### 2.9.2 สัมผัสต่อการมองเห็นของสิ่งมีชีวิตและเพื่อกำหนดสีลงไปในกรอกแบบ [12]

สี หมายถึง ลักษณะความเข้มของแสงสว่างที่ปรากฏต่อสายตา สัมผัสที่พลต่อจิตใจมนุษย์ ในการใช้สีให้มีอิทธิพลต่อจิตใจมนุษย์นั้นจำเป็นต้องใช้ให้เหมาะสมกับอิทธิพลของสีแต่ละสีตลอดทั้งเวลาและโอกาส วัฒนธรรม ประเพณี สภาพดินฟ้าอากาศและความเป็นอยู่

สีมีประโยชน์ด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ คือ ช่วยทำให้เกิดความสวยงามและป้องกันการสึกกร่อน นอกจากนี้แล้วสีทำให้เกิดความรู้สึกต่างๆ เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ให้ดูใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง น้ำหนักให้ดูหนักขึ้นหรือเบา ความแข็งแรงทำให้เกิดความรู้สึกว่าแข็งแรงมากหรือแข็งแรงน้อย อุณหภูมิทำให้รู้สึกว่ร้อนหรือเย็น ความสะอาดทำให้รู้สึกว่สะอาดน่าใช้ ความสง่างามของผลิตภัณฑ์เพื่อดึงดูดความสนใจของลูกค้า เป็นต้น สียังใช้ประโยชน์ในการผลิตสิ่งต่างๆได้มากมาย เช่น ผลิตแผนภูมิแผนภาพ แผนสถิติ ภาพโฆษณา การประดิษฐ์อักษร การวาดภาพ เป็นต้น เพื่อเป็นสื่อความหมายและจิตวิทยา

### 2.9.3 อิทธิพลของสีที่มีผลต่อความรู้สึกของมนุษย์

1. สีแดง เป็นสีแห่งความกล้าหาญ รุนแรง ตื่นเต้น บ่งบอกถึงอันตราย
2. สีเขียว ให้ความรู้สึกสบาย เป็นสีแห่งพลังวังชา
3. สีส้ม ให้ความรู้สึกสนุกสนานร่าเริง

4. สีม่วง ให้ความรู้สึกผิดหวัง เศร้า และแสดงความภักดี
5. สีขาว ให้ความรู้สึกบริสุทธิ์ ใหม่ สดใส และให้ความรู้สึกว่าแห่
6. สีดำ ให้ความรู้สึกหดหู่และเศร้าใจ เป็นสีแห่งความลึกลับ
7. สีฟ้า ให้ความรู้สึกสงบเงียบเรียบร้อย
8. สีเทา ให้ความรู้สึกอ่อนโยน เศร้าสงบ
9. สีชมพู ให้ความรู้สึกนุ่มนวล น่ารัก
10. สีเหลืองอ่อน ให้ความรู้สึกอ่อนเปลี้ย
11. สีเหลืองแก่ ให้ความรู้สึกเกิดพลังวังชา ความร่าเริง
12. สีทองอ่อน ก่อให้เกิดความรู้สึกเย็น แต่ตื่นเต้น
13. สีน้ำเงิน ให้ความรู้สึกปลอดภัยเย็น สงบ เรียบร้อย
14. อื่นๆ

วรรณะของสีมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของมนุษย์ สีอุ่นจะก่อให้เกิดความรู้สึกตื่นเต้น เกิดพลังวังชา สีเย็นก่อให้เกิดความสงบเยือกเย็นและสบายใจ สีอุ่นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมได้ง่ายกว่าสีเย็น



## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทวีศักดิ์ มหารวรรณ และปณิธาน มั่นประเทศ (2545) [6] ทำการออกแบบและสร้างเครื่องยกไฮดรอลิกส์สำหรับยกสิ่งของขึ้นหรือลงจากที่สูง และสามารถเคลื่อนที่ด้วยล้อเลื่อนที่ติดกับ โครงเครื่องโดยใช้แรงงานคนเป็นหลักการทำงานของเครื่องยกชนิดนี้อาศัยกระบอบสูบไฮดรอลิกส์เป็นตัวส่งถ่ายกำลังงานในการยก โดยมีการใช้ปั๊ม และโซ่ เป็นตัวส่งผ่านกำลังงาน การเคลื่อนที่ขึ้น – ลงของชุดงายก และอาศัยการเคลื่อนตัวของล้อลูกกลิ้งภายในร่องของเหล็กรางพับ ส่วนระบบควบคุมความปลอดภัยของเครื่องยกไฮดรอลิกส์ จะใช้ระบบล็อกตัวระหว่างสลักเกลียวซึ่งอยู่ในชุดงายกกับร่องบากรูปฟันเลื่อยที่ติดตั้งอยู่กับเสาทั้งสองข้าง ซึ่งจากการทดสอบและวิเคราะห์พบว่า เครื่องยกไฮดรอลิกส์สามารถยกสิ่งของที่มีน้ำหนักสูงสุดได้ 4905 นิวตัน ตั้งแต่ระดับความสูง 0.095 เมตร จนถึงระดับสูงสุด 1.50 เมตร

ปฏิภาณ ปัญญา (2541) [7] ทำงานวิจัยและออกแบบรถเข็นสำหรับการขนย้ายผลสตรอเบอรี่ให้เหมาะสมในการใช้งานแก่เกษตรกร ซึ่งพบว่าภาชนะบรรจุและเข็นที่ใช้ในปัจจุบันมีปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อ สตรอเบอรี่ คือ ไม่สามารถวางภาชนะซ้อนทับกันได้บนรถเข็น รถเข็นมีน้ำหนักมาก รถเข็นถ่ายไปมาระหว่างเข็น ลูกปืนล้อแตก ล้อบิดงอเสียหาย และรถเข็นมีขนาดใหญ่เกินไป นอกจากนั้นในงานวิจัยยังพบว่ารถเข็นที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีความคล่องตัวในการเข็น ต้องทำมาจากวัสดุที่แข็งแรงมีน้ำหนักเบา และมีชั้นสำหรับใส่ถาดที่บรรจุผลสตรอเบอรี่ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มผลผลิตของผลสตรอเบอรี่ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณรวมถึงมูลค่าในการจำหน่าย

พัฒพงษ์ พงษ์อำไพ (2537) [9] ทำการวิจัยและออกแบบรถเข็นทุนแรงสำหรับการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อหาวิธีแก้ปัญหาในการขนย้ายข้าวโพดให้แก่เกษตรกร เพราะรถเข็นทุนแรงที่ใช้ในอดีตมักจะกระดกเมื่อจอดทิ้งไว้ทำให้ไม่สะดวกในขณะที่ใส่ข้าวโพดฝักอ่อนลงในกระบะ และกระบะมีสนิมกัดกร่อนทำให้เกิดการผุพังอย่างรวดเร็วไม่ทนต่อสภาพชื้นและ ในการเข็นบนพื้นที่ไม่เรียบเสมอกันล้อเข็นทุนแรงจะเกิดการบิดงอ ส่งผลให้ลูกปืนแตก ขางรั่วและด้ามจับที่เป็นท่อเหล็กจับไม่ถนัดมือ ผู้วิจัยได้ออกแบบรถเข็นที่มีรูปแบบคล้ายรถช่วยรบ โครงสร้างทำจากเหล็กไร้สนิม ด้านหน้าและด้านหลังติดทับทิมสะท้อนแสงเพื่อให้เห็นในที่สว่างน้อย ล้อของรถเข็นจะเป็นล้อยางชนิดดอกยางแบบขี้ผึ้งทำให้ใช้งานบนพื้นผิวถนนที่ขรุขระเป็นหลุมบ่อได้สะดวก

ขวัญชัย ลำปา, ประมพร วิจิตร และพงษ์พันธุ์ สุวรรณโชติ (2541) [2] ทำการออกแบบรถเข็นสินค้าภายในตลาดสด โดยได้ออกแบบสำรวจ รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผู้ใช้งานรถเข็นสินค้า ซึ่งพบว่าปัญหาในการใช้งานคืออายุการใช้งานของลูกล้อและลูกปืนค่อนข้างต่ำ ส่วนโครงสร้างทำจากโลหะทอกลมที่มีคุณภาพต่ำ ทำให้อายุการใช้งานสั้น เก็บรักษายาก จึงควรนำปัญหาดังกล่าวมาเป็นเงื่อนไขหลักในการออกแบบรถเข็นสินค้าภายในตลาดสดใหม่ ส่วนในด้านความคิดเห็นจากการสำรวจพบว่า ลูกล้อของรถเข็นควรเป็นแบบล้อหมุนได้รอบทิศทาง ควรมีโครงเหล็กกันด้านข้างและควรมีน้ำหนัก 45 – 50 กิโลกรัม

จารุ สุรินทร์, ฉัตรนภา สาลี และณัฐคนัย เอกจิน (2551) [3] ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประเมินปัญหาทางด้านกายศาสตร์ในเรื่องของการยกเคลื่อนย้ายสิ่งของด้วยแรงมนุษย์ จากการสำรวจปัญหาอาการบาดเจ็บพบว่าอาการปวดหลังช่วงล่างเนื่องมาจากการยกเคลื่อนย้ายของหนักเป็นปัญหาสำคัญที่พบบ่อยมาก แต่ไม่ได้

รับการใส่ใจมากนักเนื่องจากการป้องกันและแก้ไขปัญหในข้างต้นมีความยุ่งยาก จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง จากการดำเนินการพบว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้สามารถทำการประเมินลักษณะงานได้ใน 4 รูปแบบ ได้แก่ ลักษณะงานแบบ Single Task รูปแบบที่ 1 ลักษณะงานแบบ Single Task รูปแบบที่ 2 ลักษณะงานแบบ Multiple Task รูปแบบที่ 1 และลักษณะงานแบบ Multiple Task รูปแบบที่ 2 หลังจากทดสอบความแม่นยำในการคำนวณของโปรแกรมเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือพบว่า โปรแกรมมีความถูกต้อง แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือ



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

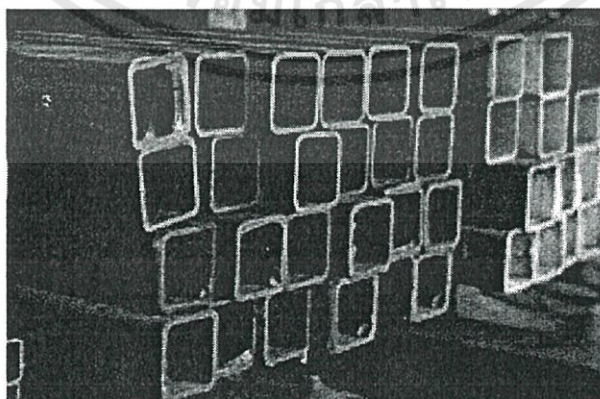
เงื่อนไขในการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได คือ เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่สร้างขึ้นมาต้องสามารถทำงานได้ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด โดยจะต้องยกน้ำหนักของวัตถุได้สูงสุด 70 กิโลกรัม และสามารถยืดตัวได้สูงสุด 0.7 เมตร เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดควรมีความแข็งแรงเพียงพอในการใช้งาน เคลื่อนย้ายหรือใช้งานได้สะดวก และที่สำคัญต้องมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยผู้จัดทำได้วางแผนการดำเนินการในการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดตามขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบโครงสร้าง และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได
3. สร้างโครงสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได
4. ออกแบบและสร้างชุดวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
5. นำชุดวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าและ โครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดมาประกอบกัน

#### 3.1 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

##### 3.1.1 วัสดุที่ใช้สร้างโครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

จะเลือกใช้วัสดุที่ทำมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งเป็นเหล็กที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้ความร้อน ในการออกแบบนี้จะใช้เหล็กกล้าคาร์บอนชนิด St 37 เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมติดด้วยกรรมวิธีทางกลได้ไม่ยาก [17]



รูปที่ 3.1 เหล็กกล้าคาร์บอน St 37 ที่ใช้ในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ความปลอดภัยในการใช้งาน

ความปลอดภัยในการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได ซึ่งในการออกแบบจะใช้หลักกลศาสตร์วิศวกรรมเพื่อหาขนาดของวัสดุที่จะใช้สร้างต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ค และมีการเผื่อค่าแรงหรือขีดความสามารถอื่นๆ ให้มากกว่าที่คำนวณได้เล็กน้อย เพื่อให้ขนาดของวัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงและปลอดภัยในการใช้งาน นอกจากนี้จะมีอุปกรณ์เสริมในการใช้งาน คือ เข็มขัดรัดวัตถุที่ต้องการเคลื่อนย้าย ลิมิตสวิตซ์ตัดการทำงานของเครื่องเมื่อโครงสร้างชั้นในของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดยึดตัวหรือหกดตัวเมื่อถึงตำแหน่งที่ถูกออกแบบไว้เพื่อป้องกันไม่ให้มอเตอร์ไฟฟ้าเสียหาย และติดตั้งสัญญาณเตือนเมื่อแบตเตอรี่ของเครื่องใกล้หมดเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด

### 3.1.3 ขีดความสามารถของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

จะต้องสามารถใช้งานได้คล่องตัว มีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่น้อย สามารถรับน้ำหนักของวัตถุที่จะเคลื่อนย้ายได้สูง และสามารถใช้งานได้โดยผู้ใช้งานเพียงคนเดียว ซึ่งในการออกแบบได้ออกแบบให้เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดไม่เกิน 70 กิโลกรัม ขนาดความสูงของเครื่องได้ถูกออกแบบให้มีความสูงของเครื่องไม่เกิน 140 เซนติเมตร โดยเปรียบเทียบจากมาตรฐานความสูงของคนไทย [20] ระยะห่างระหว่างที่จับมีค่าเท่ากับ 58 เซนติเมตร เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับรถเข็นในตลาดสดที่มีค่าเท่ากับ 53 เซนติเมตร และออกแบบให้เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถยึดตัวออกได้สูงสุด 70 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานตามมาตรฐานของบันไดในอาคาร [1] โดยขีดความสามารถดังกล่าวได้เปรียบเทียบและออกแบบให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องต้นแบบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันที่จำหน่ายในต่างประเทศ

### 3.1.4 งบประมาณที่ใช้ในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยจะทำการสำรวจแหล่งจำหน่ายวัสดุและผลิตเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจากหลายที่ เพื่อเปรียบเทียบทั้งคุณภาพ ราคา และความสะดวกในการเดินทางเพื่อขนย้ายเครื่องมือเครื่องเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งค่าใช้จ่ายของราคาวัสดุและอุปกรณ์ ดังแสดงในภาคผนวก ง

### 3.1.5 อายุการใช้งานของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

วัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้สร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดต่างมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยวัสดุอุปกรณ์ที่สำคัญที่ควรตรวจสอบสภาพเป็นประจำคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ และสกรูลูกกลิ้ง ซึ่งถ้ามีการตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษาอยู่เป็นประจำก็จะเป็นการยืดอายุการใช้งานของเครื่องในระยะยาว

### 3.1.6 การเคลื่อนที่ของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

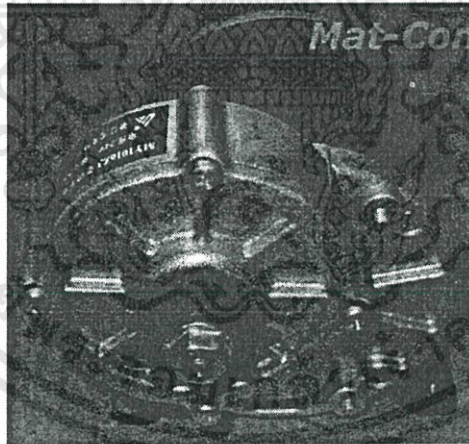
การเคลื่อนที่จะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยลูกกลิ้งที่ผลิตขึ้นจากโพลียูรีเทนแกนกลางทำจากเหล็กดังรูปที่ 3.2 การใช้งานของลูกกลิ้งจะมีความคล่องตัว รับน้ำหนักได้มาก ทนต่อน้ำมันและสารเคมี [19]



รูปที่ 3.2 ลูกล้อนีเบอร์ที่ทำจาก โพลียูรีเทนแกนกลางทำจากเหล็ก

### 3.1.7 ระบบส่งถ่ายกำลัง

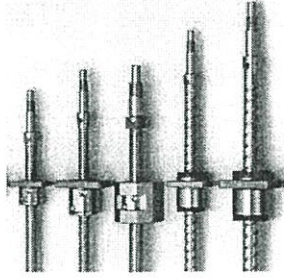
จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งจะใช้พลังงานมาจากแบตเตอรี่ โดยจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 350 วัตต์ ใช้แรงดัน 24 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ โดยการคำนวณขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะต้องใช้งานแสดงในตารางที่ ผข 15



รูปที่ 3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

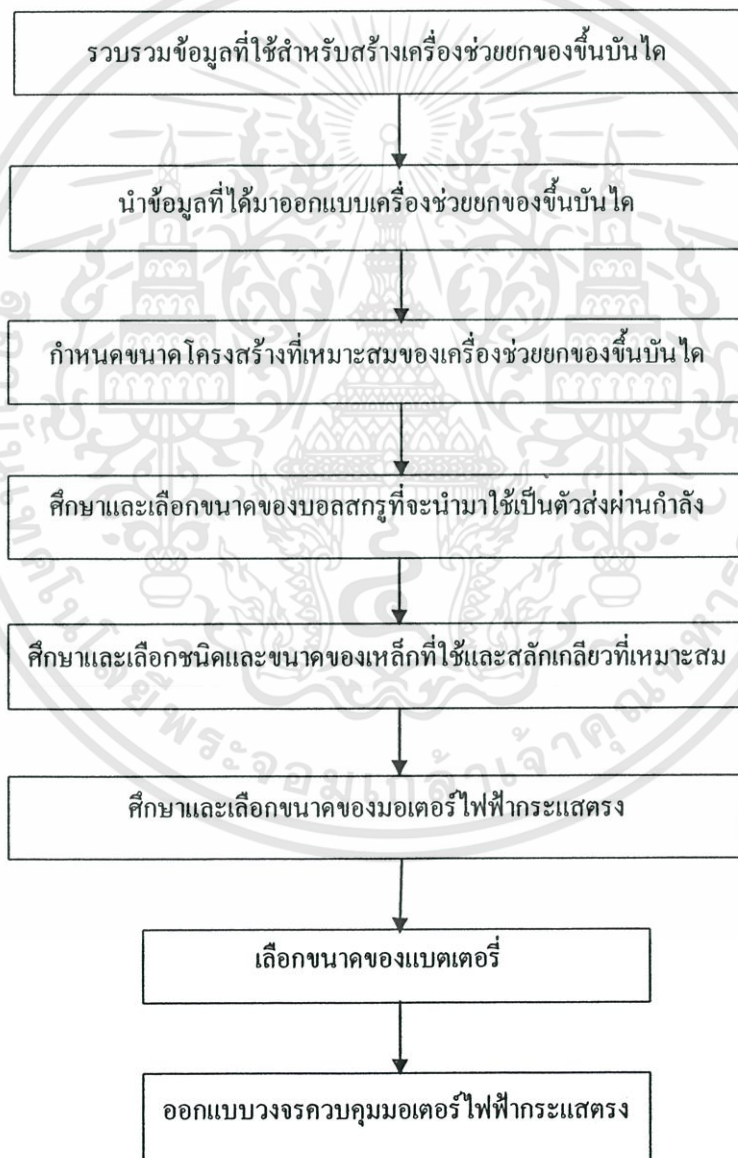
### 3.1.8 ระบบส่งผ่านกำลัง

จะถูกส่งถ่ายกำลังมาจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งคำนวณแรงบิดได้จากมวลของสิ่งของที่จะเคลื่อนย้าย มวลของโครงสร้างชั้นใน มวลของตัวรองรับของ และมวลของระบบส่งผ่านกำลัง ซึ่งระบบส่งผ่านกำลังที่เลือกใช้คือ ชุดสกรูลูกกลิ้ง (Ball Screw) โดยคำนวณขนาดและความเสียหายที่เกิดขึ้นไว้ในภาคผนวก ค



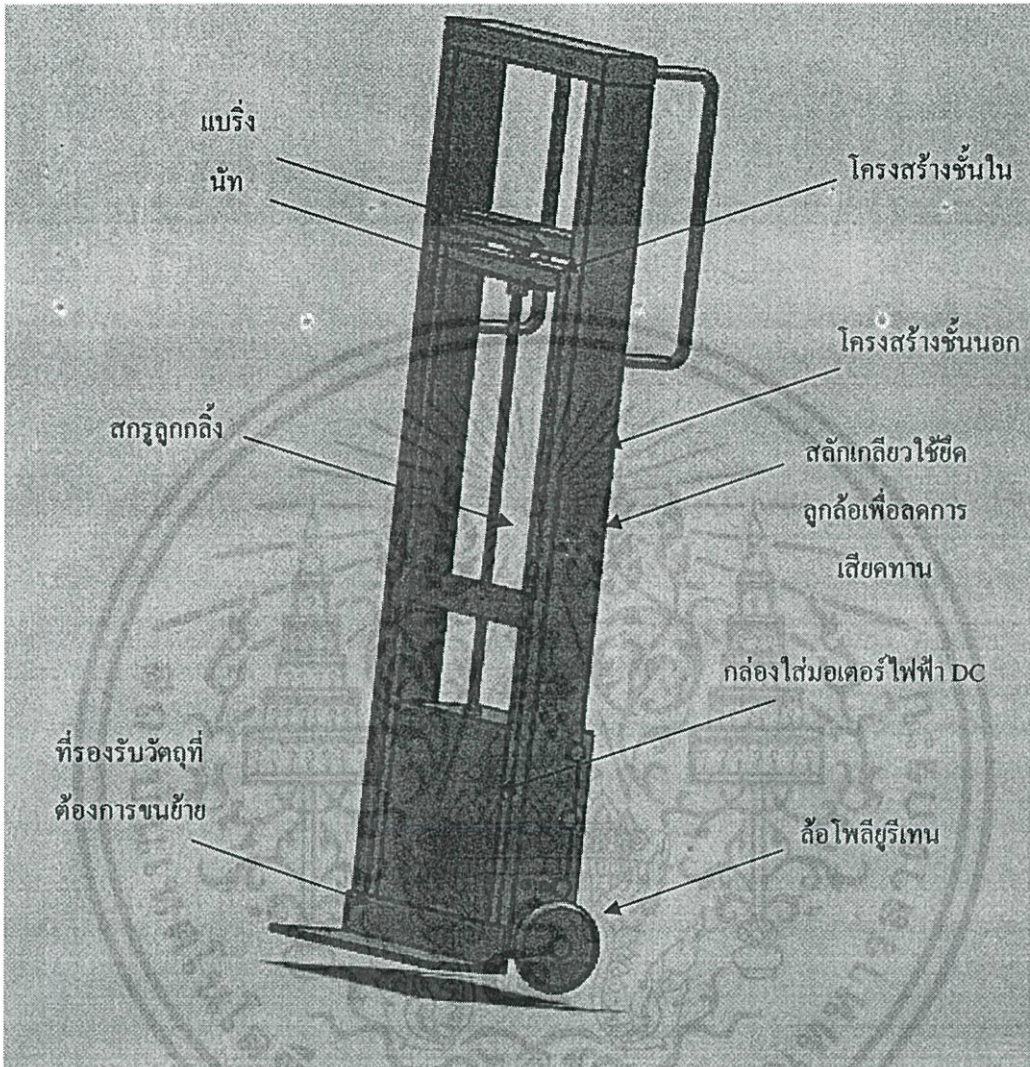
รูปที่ 3.4 สกรูถูกกลึง

### 3.2 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได



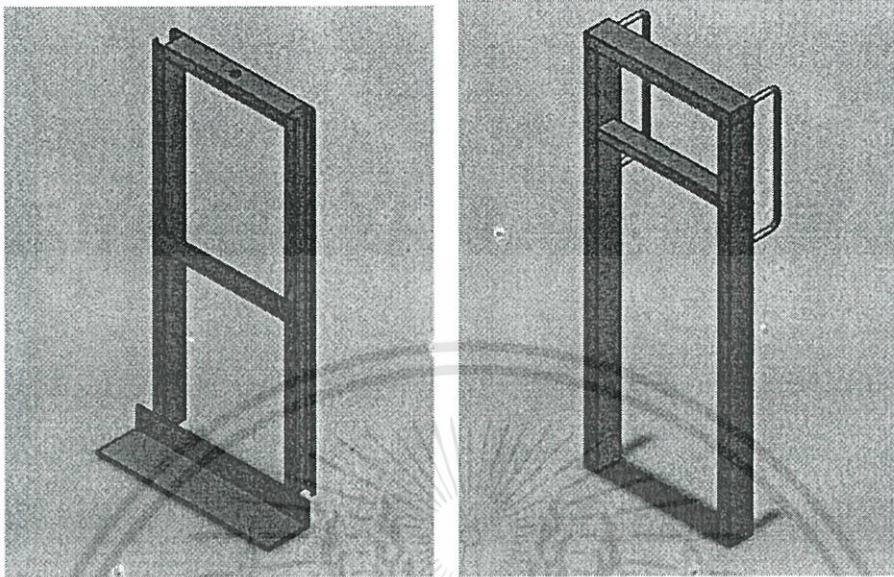
รูปที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนการออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

### 3.3 วิธีการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได



รูปที่ 3.6 เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

3.3.1 โครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได (โครงสร้างชั้นนอก,โครงสร้างชั้นใน,ที่รองรับวัสดุและที่จับ)



รูปที่ 3.7 (a) โครงสร้างภายในของเครื่อง

รูปที่ 3.7 (b) โครงสร้างภายนอกของเครื่อง

ตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้สร้างโครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

วัสดุ	ขนาด	จำนวน
<b>เหล็กทรงพับ</b>		
- โครงสร้างชั้นในค้ำข้าง	0.0762×0.0381×0.015 เมตร หนา 0.0018 เมตร ยาว 1.13 เมตร	2 ท่อน
- โครงสร้างชั้นในค้ำบน	0.1016×0.0508×0.015 เมตร หนา 0.0018 เมตร ยาว 0.44 เมตร	1 ท่อน
- โครงสร้างชั้นนอก ค้ำบน	0.1016×0.0508×0.015 เมตร หนา 0.0018 เมตร ยาว 0.512 เมตร	1 ท่อน
<b>รวม</b>	<b>0.0762×0.0381 ยาว 2.26 เมตร</b> <b>0.1016×0.0508 ยาว 0.952 เมตร</b>	
<b>เหล็กกล่อง</b>		
- โครงสร้างชั้นนอกค้ำข้าง	0.1016×0.0508 เมตร หนา 0.002 เมตร ยาว 1.55 เมตร	2 ท่อน
- โครงสร้างชั้นนอกค้ำบน	0.1016×0.0508 เมตร หนา 0.002 เมตร ยาว 0.61 เมตร	1 ท่อน
<b>รวม</b>	<b>ยาว 3.71 เมตร</b>	

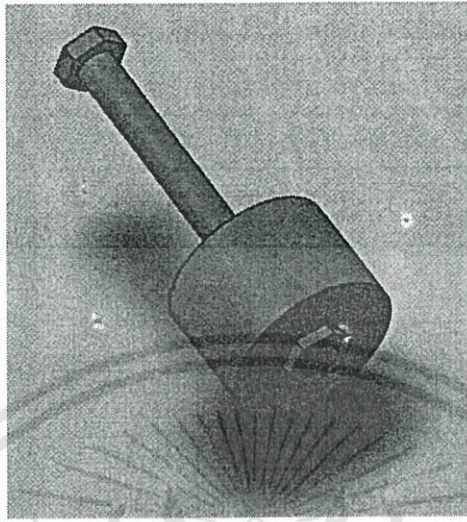
วัสดุ	ขนาด	จำนวน
เหล็กแผ่น		
- แผ่นปะที่โครงสร้างชั้นใน	0.48×0.06 เมตรหนา 0.003 เมตร	1 แผ่น
- แผ่นตั้งของที่รองรับวัสดุ	0.61×0.08 เมตรหนา 0.003 เมตร	1 แผ่น
- แผ่นนอนของที่รองรับวัสดุ	0.61×0.15 เมตรหนา 0.003 เมตร	1 แผ่น
เหล็กกลมกลวง		
- ที่จับของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0254 เมตร หนา 0.0018 เมตร ยาว 0.30 เมตร	2 ท่อน

### ขั้นตอนการสร้าง

#### โครงสร้างชั้นนอก

1. ตัดเหล็กทรงพับ เหล็กกล่อง และเหล็กกลมกลวงให้ได้ขนาดตามแบบ S-2010-01
  2. ทำการปรับผิวที่ผ่านกรรมวิธีทางกลให้เรียบด้วยการตะไบเพื่อให้ง่ายต่อการประกอบ
  3. เจาะรูที่เหล็กกล่องขนาด 0.1016×0.0508 เมตรหนา 0.002 เมตร ยาว 1.55 เมตร จำนวน 2 ท่อนตามแบบ S-2010-01
  4. ประกอบเหล็กทรงพับขนาด 0.1016×0.0508×0.015 เมตรหนา 0.0018 เมตร ยาว 0.512 เมตร เข้ากับเหล็กกล่องจากข้อ 3 ด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า
  5. ประกอบเหล็กกล่องขนาด 0.1016×0.0508 เมตรหนา 0.002 เมตร ยาว 0.61 เมตร เชื่อมติดด้านบนของเหล็กกล่องของโครงสร้างจากข้อ 4
  6. นำเหล็กกลมกลวงที่ตัดโค้งตามแบบ S-2010-01 มาประกอบกับเหล็กกล่องในโครงสร้างที่ได้จากข้อ 5
  7. ทาสีโครงสร้างที่ได้จากข้อ 6 และทิ้งให้แห้งเพื่อรอการประกอบในลำดับต่อไป
- #### โครงสร้างชั้นใน
8. ตัดเหล็กทรงพับ เหล็กแผ่น และเหล็กกล่องให้ได้ขนาดตามแบบ S-2010-02
  9. ทำการปรับผิวที่ผ่านกรรมวิธีทางกลให้เรียบด้วยการตะไบเพื่อให้ง่ายต่อการประกอบ
  10. ประกอบเหล็กแผ่นขนาด 0.48×0.06 เมตรหนา 0.003 เมตร เข้ากับเหล็กทรงพับจำนวน 2 ท่อน  
ขนาด 0.0762×0.0381×0.015 เมตรหนา 0.0018 เมตร ยาว 1.13 เมตร
  11. เจาะรูที่เหล็กทรงพับขนาด 0.1016×0.0508×0.015 เมตรหนา 0.0018 เมตร ยาว 0.44 เมตร ตามแบบ S-2010-02 และนำมาเชื่อมติดที่ด้านบนของโครงสร้างที่ได้จากข้อ 10
  12. นำแผ่นโลหะขนาด 0.61×0.08 เมตรหนา 0.003 เมตร และขนาด 0.61×0.15 เมตรหนา 0.003 เมตร เชื่อมติดกันแบบตั้งฉากตามแบบ S-2010-02 และนำเหล็กแผ่นที่เชื่อมติดกันแล้วมาประกอบกับโครงสร้างที่ได้จากข้อ 11
  13. ทาสีโครงสร้างที่ได้จากข้อ 12 และทิ้งให้แห้งเพื่อรอการประกอบในลำดับต่อไป

### 3.3.2 ชุดลูกตุ้มกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทาน



รูปที่ 3.8 ชุดลูกตุ้มกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทาน

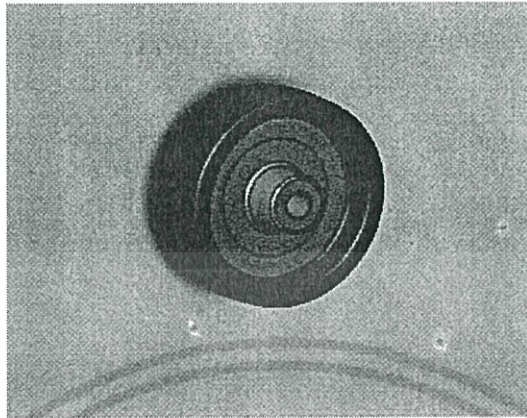
ตารางที่ 3.2 วัสดุของชุดลูกตุ้มกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทาน

วัสดุ	ขนาด	จำนวน
- ลูกตุ้มรางเลื่อน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0363 เมตร	12 ล้อ
- ลูกตุ้มยาง	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 เมตร	6 ล้อ
<b>สลักเกลียว</b>		
- สลักเกลียวสำหรับเป็นแกนให้ลูกตุ้มเล็ก	วัสดุชั้นคุณสมบัติ 6.8 เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 เมตร ยาว 0.086 เมตร	12 ตัว
- สลักเกลียวสำหรับยึดชุดลูกตุ้มใหญ่	วัสดุชั้นคุณสมบัติ 6.8 เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 เมตร ยาว 0.0508 เมตร	12 ตัว

#### ขั้นตอนการสร้าง

- นำลูกตุ้มรางเลื่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0363 เมตร และลูกตุ้มยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 เมตรมาประกอบกับสลักเกลียวยึดแน่นด้วยเบร้งและแหวนล็อก
- นำสลักเกลียวที่ประกอบกับลูกตุ้มแล้วในข้อ 1 มาประกอบกับโครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดตามรูปที่จะไว้ในแบบ S-2010-01

### 3.3.3 ชุดล้อเลื่อน



รูปที่ 3.9 ล้อเลื่อนของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

ตารางที่ 3.3 วัสดุที่ใช้ทำล้อเลื่อน

วัสดุ	ขนาด	จำนวน
- ล้อโพลียูรีเทน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1524 เมตร กว้าง 0.0508 เมตร	2 ล้อ

#### ขั้นตอนการสร้าง

1. ประกอบชุดล้อโพลียูรีเทนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1524 เมตร กว้าง 0.0508 เมตรเข้ากับแกนล้อเหล็กด้วยเบร็งและแหวนล็อก
2. นำชุดลูกล้อที่ได้จากข้อ 1 มาประกอบกับโครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดตามแบบ S-2010-00

### 3.3.4 ชุดต้นกำลัง

ตารางที่ 3.4 วัสดุที่ใช้สร้างกล่องใส่มอเตอร์ไฟฟ้า

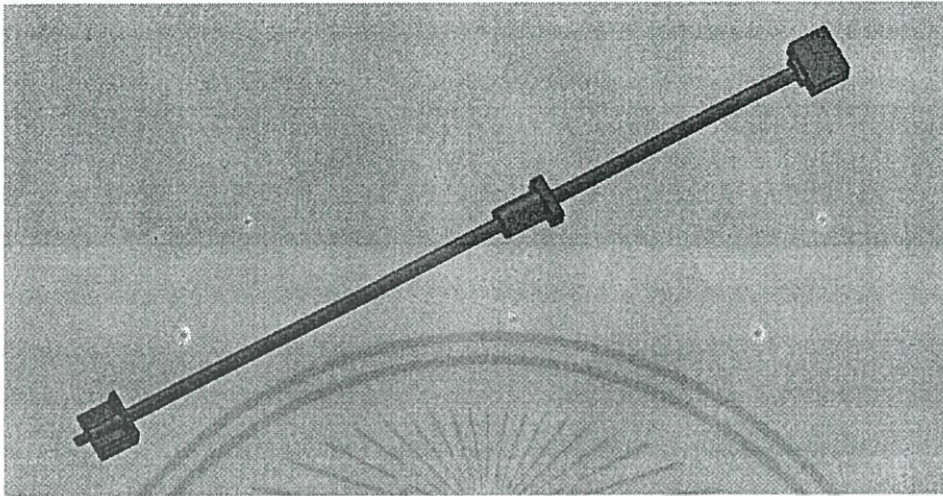
วัสดุ	ขนาด	จำนวน
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	จำนวนรอบ 400 รอบต่อนาที แรงบิด 5 นิวตัน-เมตร ใช้กระแสไฟฟ้า 19 แอมแปร์ 24 โวลต์ DC	1 เครื่อง
เหล็กแผ่น		
- ด้านหน้าและด้านหลังของกล่อง	0.43×0.35 เมตรหนา 0.001 เมตร	2 แผ่น
- ด้านซ้ายและด้านขวาของกล่อง	0.1524×0.35 เมตรหนา 0.001 เมตร	2 แผ่น
- ด้านล่างและด้านบนของกล่อง	0.43×0.1524 เมตรหนา 0.001 เมตร	2 แผ่น

วัสดุ	ขนาด	จำนวน
สลักเกลียว		
- สำหรับยึดกล่องมอเตอร์กับ โครงสร้างชั้นนอก	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.005 เมตร ยาว 0.089 เมตร	6 ตัว

#### ขั้นตอนการสร้าง

1. เจาะรูที่เหล็กแผ่นขนาด 0.1524×0.35 เมตร หนา 0.001 เมตร จำนวน 2 แผ่น
2. นำเหล็กแผ่นขนาด 0.43×0.35 เมตร หนา 0.001 เมตร จำนวน 2 แผ่น ขนาด 0.1524×0.35 เมตร หนา 0.001 เมตร จำนวน 2 แผ่นที่เจาะรูแล้วจากข้อ 1 และขนาด 0.43×0.1524 เมตร หนา 0.001 เมตร จำนวน 2 แผ่น มาเชื่อมเป็น  
กล่องกันตามแบบ S-2010-03 ให้สามารถเปิดด้านบนของกล่องได้
3. ทาสีกล่องใส่มอเตอร์ที่ได้จากข้อ 2 และทิ้งให้แห้งเพื่อรอการประกอบ
4. นำกล่องใส่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากข้อ 3 มาประกอบกับโครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดด้วย  
สลักเกลียวตามแบบ S-2010-00
5. ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าให้ทำงานร่วมกัน และเก็บไว้ภายในกล่องสำหรับเก็บ  
มอเตอร์และยัดมอเตอร์ให้แน่นด้วยสลักเกลียว
6. เดินสายไฟฟ้าจากกล่องแบตเตอรี่มายังกล่องมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 3.3.5 ชุดส่งผ่านกำลัง



รูปที่ 3.10 ชุดสกรูลูกกลิ้ง

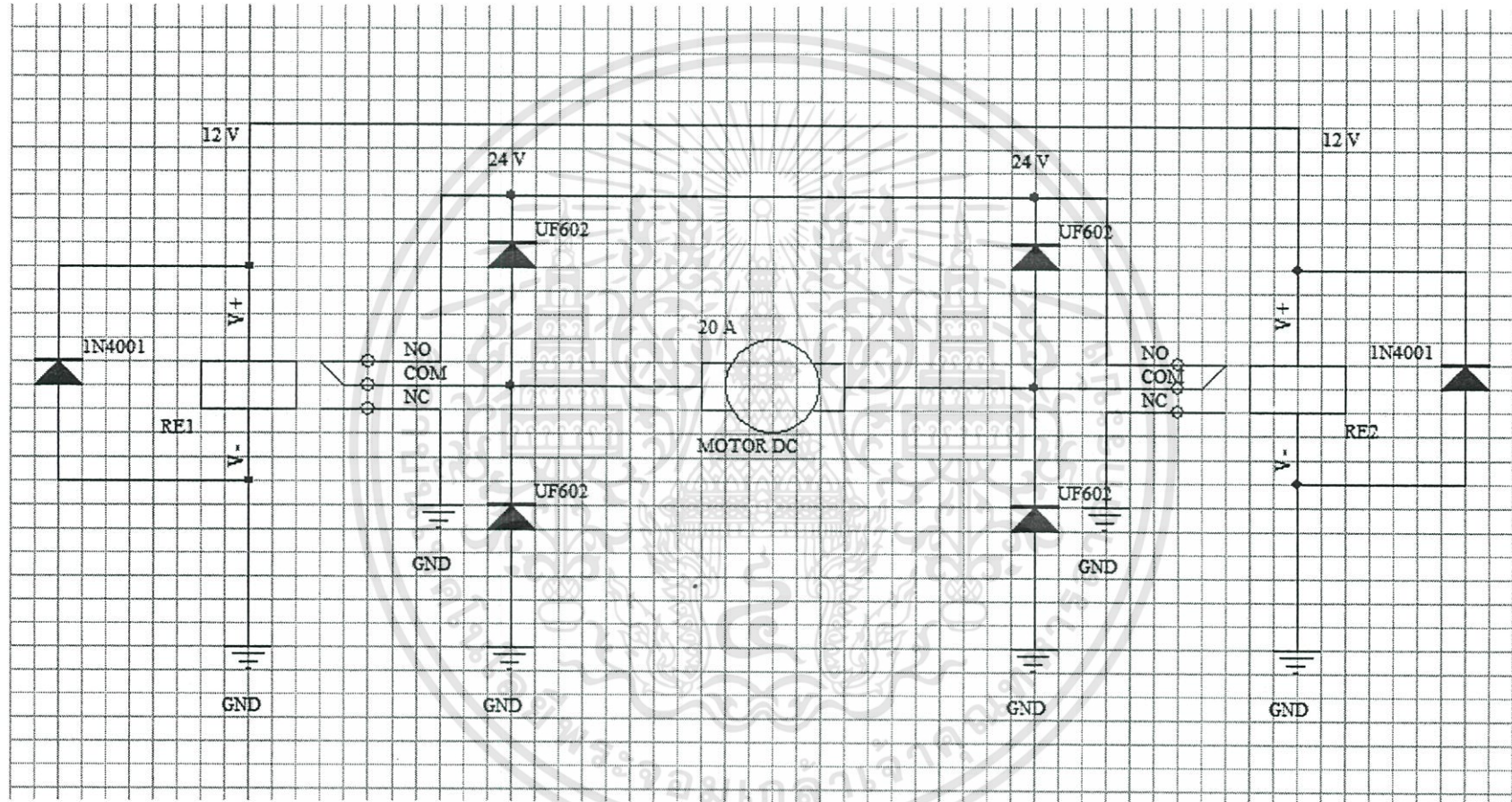
ตารางที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งผ่านกำลังงาน

วัสดุ	ขนาด	จำนวน
- ชุดสกรูลูกกลิ้ง (Ball Screw)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.015 เมตร ระยะพิตซ์ 0.0205 เมตร	1 ชุด

#### ขั้นตอนการสร้าง

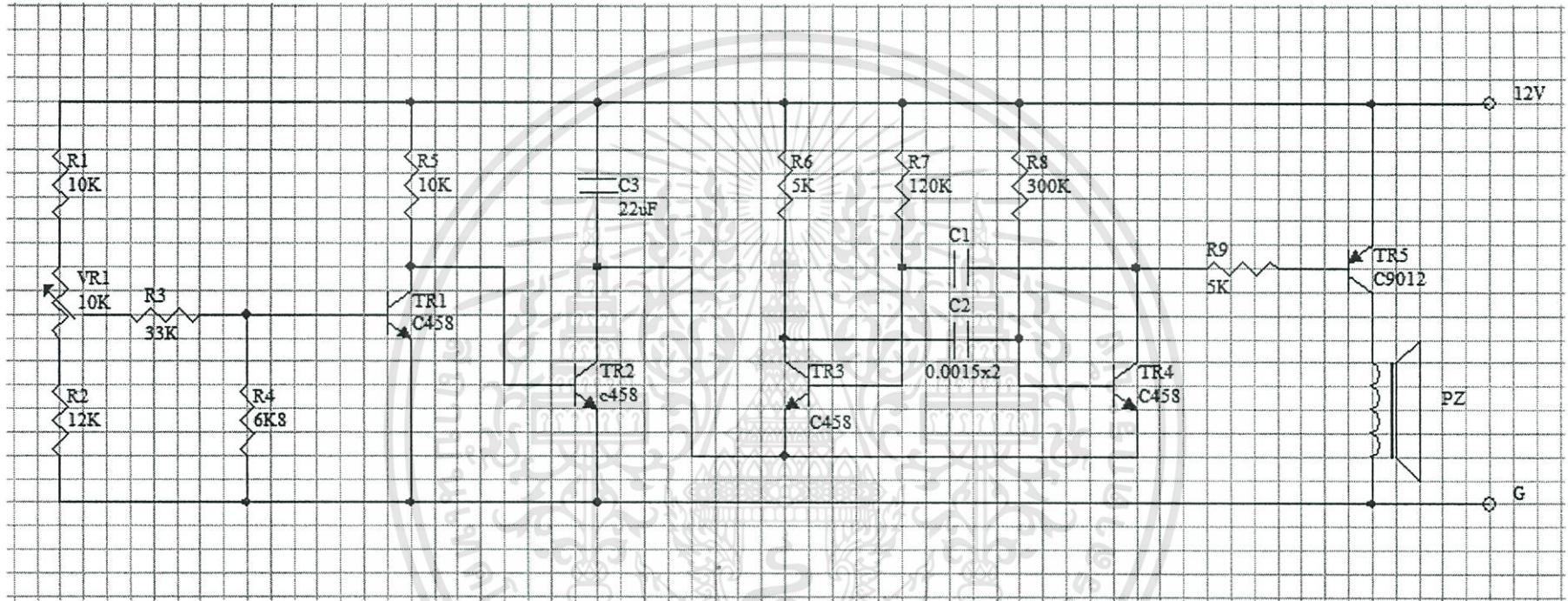
- นำสกรูลูกกลิ้งมาประกอบกับ โครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตามแบบ S-2010-00 และยึดแน่นด้วยแบริ่งและสลักเกลียว

### 3.3.6 ชุดวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 3.3.7 ชุดวงจรเตือนไฟแบตเตอรี่ตกขนาด 12 โวลต์



รูปที่ 3.12 วงจรเตือนไฟแบตเตอรี่ตกขนาด 12 โวลต์

ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน
ไดโอด	UF602	4 ตัว
	1N4001	2 ตัว
รีเลย์	12 โวลต์	2 ตัว

ตารางที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเตือนไฟแบตเตอรี่คขนาด 12 โวลต์

วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน
ตัวต้านทาน	ขนาด 5 กิโลโอห์ม	2 ตัว
	ขนาด 6 กิโลโอห์ม	1 ตัว
	ขนาด 10 กิโลโอห์ม	2 ตัว
	ขนาด 12 กิโลโอห์ม	1 ตัว
	ขนาด 33 กิโลโอห์ม	1 ตัว
	ขนาด 120 กิโลโอห์ม	4 ตัว
	ขนาด 300 กิโลโอห์ม	3 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิดเกือกม้า	14 หรือ 103 หรือ 10 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก	152 หรือ 0.0015 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์	22 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์	C458	1 ตัว
	C9012	1 ตัว

## บทที่ 4

### การทดสอบ และผลการทดสอบ

เพื่อให้เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ตั้งไว้ ดังนั้นจึงมีการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทำงานของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

#### 4.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. หาขีดความสามารถของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดตามขอบเขตที่ตั้งไว้
2. หาความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง
3. หาจุดบกพร่องของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดต่อไป

#### 4.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. กถ่องรองรับน้ำหนัก
2. เหล็กแผ่นขนาดเล็ก
3. ตู้เหล็ก
4. เครื่องชั่งน้ำหนักสปริง
5. กล้องถ่ายรูป

#### 4.3 สถานที่ทดสอบ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### 4.4 วิธีการทดสอบ

##### 4.4.1 การเคลื่อนที่ขึ้นบันได

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
2. วางกถ่องรองรับน้ำหนักลงบนส่วนรองรับวัตถุของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดให้สมดุล
3. วางเหล็กแผ่นลงบนกถ่องรองรับน้ำหนัก โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นที่ 30 กิโลกรัม
4. เคลื่อนที่เครื่องช่วยยกของขึ้นบันได ไปยังบันไดที่ต้องการทดสอบ
5. สับสวิทช์ขึ้นเพื่อให้โครงชั้นในของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดยึดตัวคั่นกับพื้นออกจากโครงชั้นนอกพร้อมเอาตัวเครื่องเข้าหาผู้ทดสอบ การสับสวิทช์จะสับจนกว่าล้อของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่ติดอยู่กับโครงชั้นนอกถึงบันไดขั้นที่ 2 นับจากพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

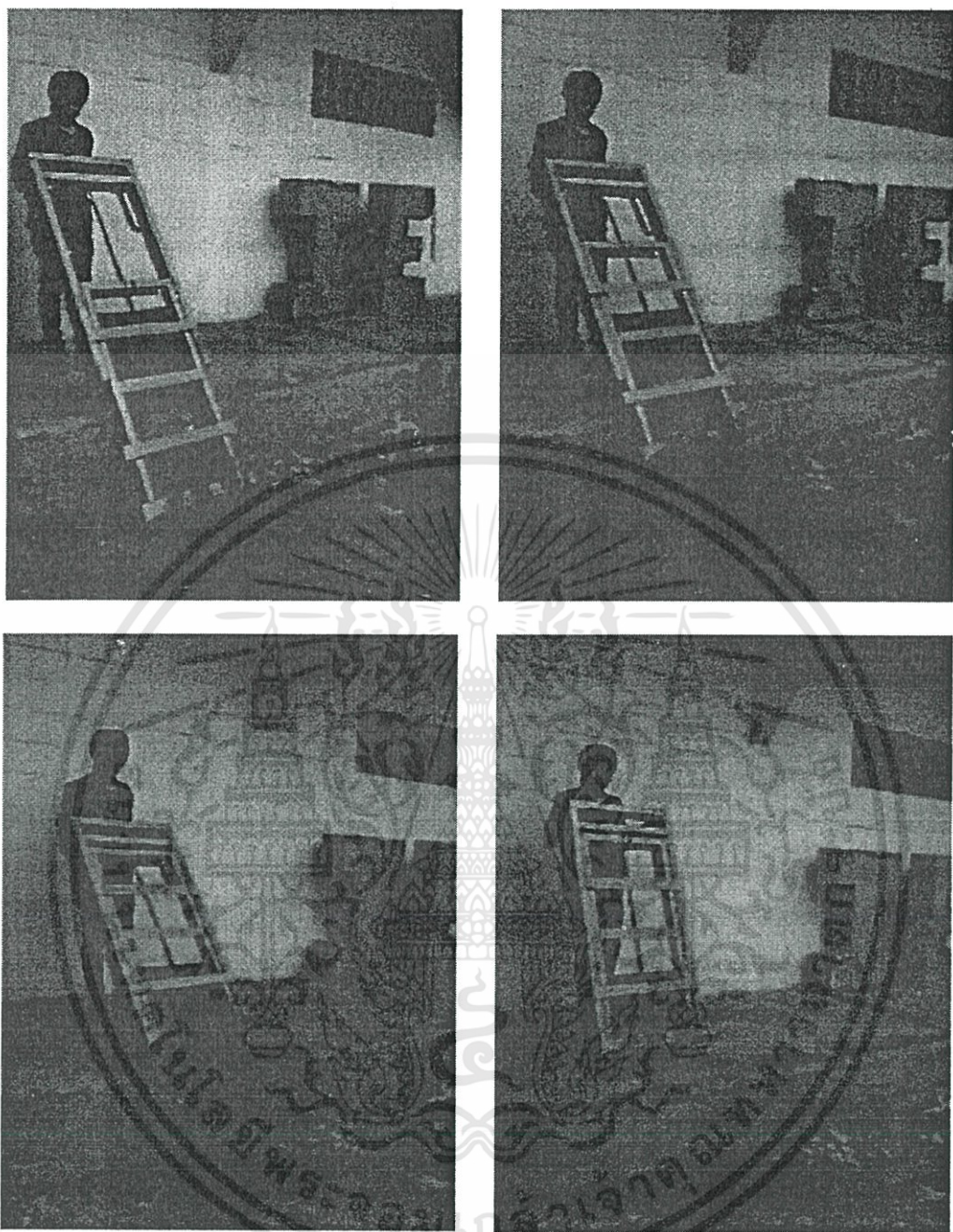
6. จากนั้นเอนเครื่องลงเล็กน้อยและสับสวิทช์ลงเพื่อให้โครงสร้างชั้นในของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดหอค้วเข้าหาโครงสร้างชั้นนอก
7. กระทำเช่นเดียวกับข้อที่ 5 – 6 เรื่อยไปจนกระทั่งถึงชั้นที่ 2 ของอาคาร
8. ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อที่ 1 – 7 แต่เพิ่มน้ำหนักขึ้นครั้งละ 5 กิโลกรัม แต่น้ำหนักรวมต้องไม่เกิน 70 กิโลกรัม

#### 4.4.2 การเคลื่อนที่ลงบันได

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และเคลื่อนย้ายมายังบันไดที่ต้องการทดสอบ ในส่วนนี้จะเหมือนกับการทดสอบของเครื่องในการขึ้นบันได
2. เอนเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดเข้าหาผู้ทดสอบเล็กน้อย จากนั้นสับสวิทช์ขึ้นเพื่อให้โครงสร้างชั้นในของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดยึดตัวออกจากโครงสร้างชั้นนอก จะสับสวิทช์จนกระทั่งด้านหลังของส่วนรองรับวัตถุที่ติดกับโครงสร้างชั้นในของเครื่อง สัมผัสกับบันไดชั้นที่ 2 นับจากพื้นชั้นบนที่ผู้ทดสอบเริ่มทดสอบ
3. ค้นเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดออกจากผู้ทดสอบเล็กน้อย จากนั้นสับสวิทช์ลงเพื่อให้โครงสร้างชั้นในของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดหอค้วเข้าหาโครงสร้างชั้นนอก
4. กระทำเช่นเดียวกับข้อที่ 2 – 3 เรื่อยไปจนกระทั่งถึงชั้นที่ 1 ของอาคาร
5. ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อที่ 1 – 4 แต่เพิ่มน้ำหนักขึ้นทีละ 5 กิโลกรัม แต่น้ำหนักรวมต้องไม่เกิน 70 กิโลกรัม

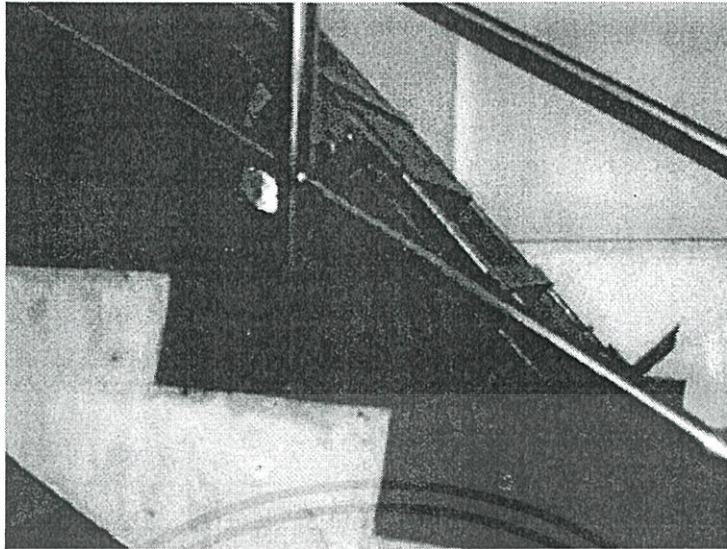
#### 4.5 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดในการยกวัตถุที่มีน้ำหนักเริ่มต้นที่ 30 กิโลกรัม และเพิ่มน้ำหนักขึ้นครั้งละ 5 กิโลกรัม ในการทดสอบครั้งใหม่แต่ละครั้ง พบว่าเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถยกน้ำหนักของวัตถุได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ และเครื่องสามารถยึดตัวออกได้สูงสุด 0.7 เมตร จากการทดสอบพบว่ามุมที่ผู้ทดสอบต้องใช้แรงในการใช้งานเครื่องสูงสุด คือมุมที่เครื่องเอนและทำมุมจากแนวระดับเท่ากับ 48.09 องศา ซึ่งมุมนี้เป็นมุมที่ตัวเครื่องถูกเอนลงจนกระทั่งสัมผัสกับบันไดชั้นที่ 2 โดยจุดหมุนยังคงอยู่ตำแหน่งเดิมเช่นเดียวกับก่อนเอนตัวเครื่อง จากนั้นได้วิเคราะห์ว่าแรงที่ผู้ทดสอบใช้ในการใช้งานเครื่องมีค่าน้อยเพียงใดแสดงการคำนวณในภาคผนวก ค ซึ่งผลที่ได้เป็นดังนี้

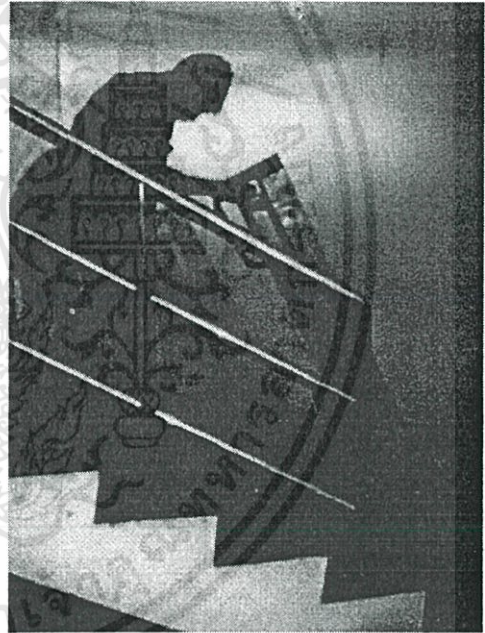
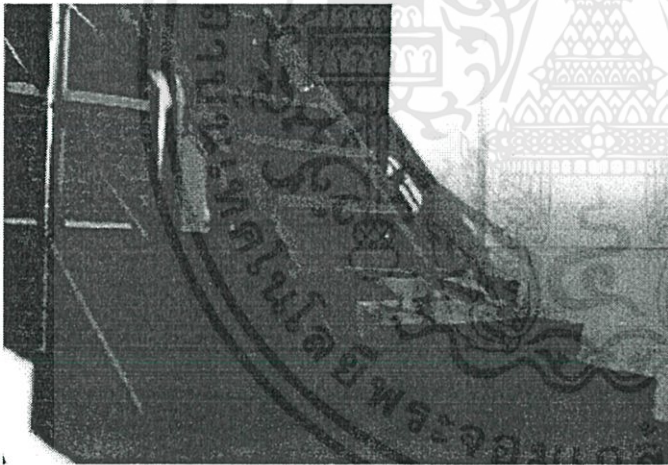


รูปที่ 4.1 การทดสอบความสามารถในการขีดตัวของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

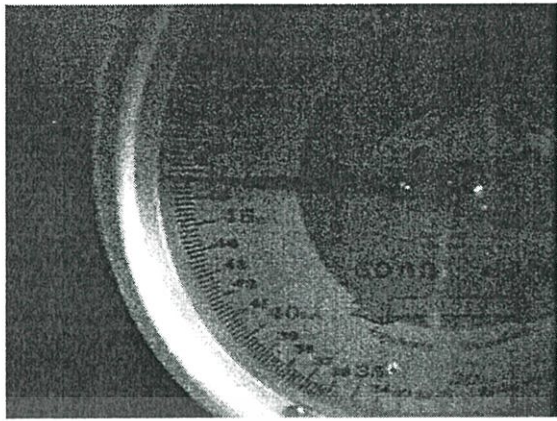
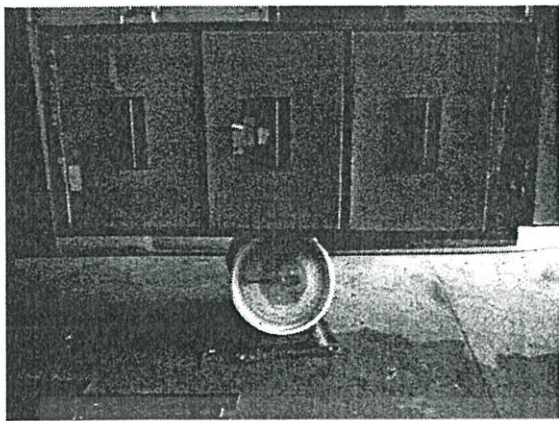


รูปที่ 4.2 การทำงานของเครื่องในการขึ้นบันได

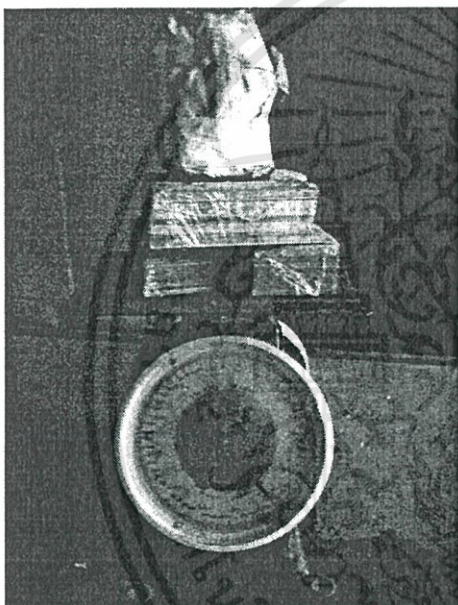


รูปที่ 4.3 การทดสอบเครื่องเพื่อหาขีดความสามารถของเครื่อง

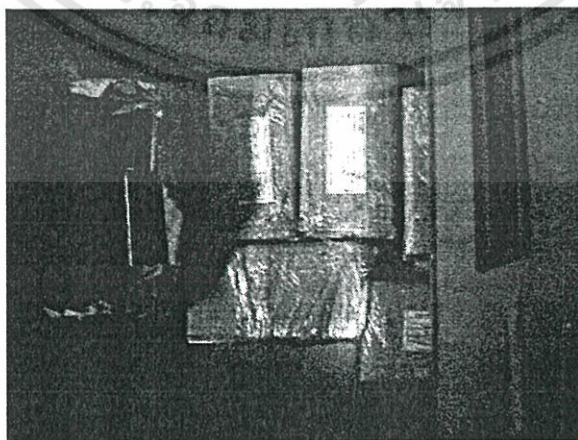
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตู้เหล็กที่ใช้บรรจุเหล็กสำหรับทดสอบเครื่องนำหนัก 46.80 กิโลกรัม

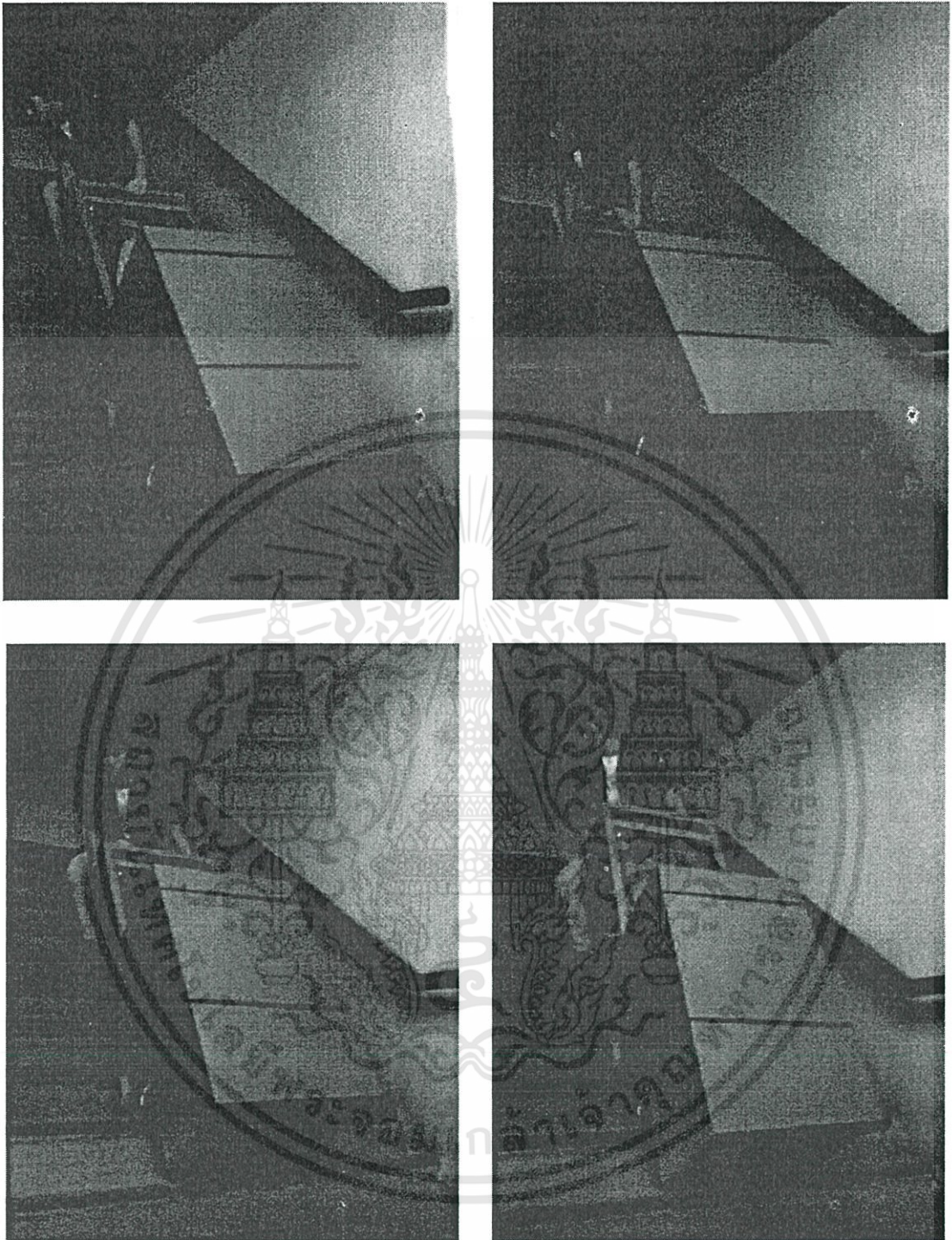


รูปที่ 4.5 เหล็กแผ่นที่ใช้ในการทดสอบเครื่องนำหนัก 25 กิโลกรัม



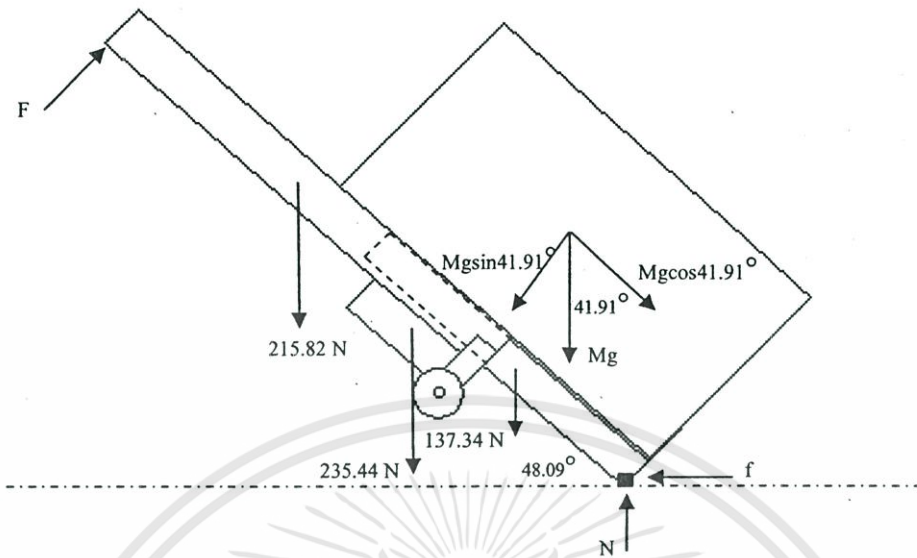
รูปที่ 4.6 การจัดวางเหล็กแผ่นลงไปในตู้เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การทดสอบเครื่องในการยกน้ำหนัก 70 กิโลกรัม ขึ้นบันได

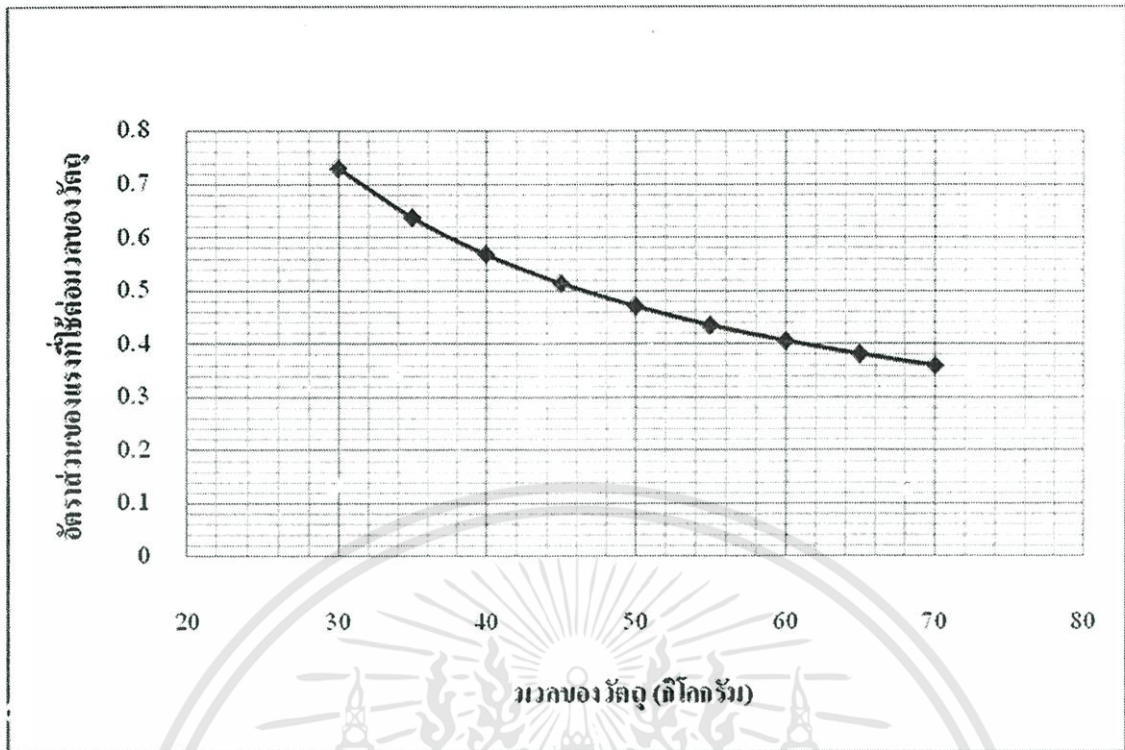
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แรงที่เกิดขึ้นในการใช้งานเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงต่างๆที่เกิดขึ้นในการใช้งานเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

มวลของวัตถุ (M)		แรงที่ผู้ทดสอบใช้ (F)		อัตราส่วนของแรงที่ใช้ ต่อมวลของวัตถุ	แรงปฏิกิริยาที่พื้น (N)		แรงเสียดทาน (f)	
kg	N	kg	N		kg	N	kg	N
30	294.3	21.92	215	1:1.37	90	882.9	16.31	160
35	343.35	22.32	218.99	1:1.57	95	931.95	16.61	162.97
40	392.4	22.73	222.97	1:1.76	100	981	16.91	165.93
45	441.45	23.13	226.95	1:1.95	105	1,030.05	17.22	168.9
50	490.5	23.54	230.94	1:2.12	110	1,079.10	17.52	171.86
55	539.55	23.95	234.92	1:2.29	115	1,128.15	17.82	174.83
60	588.6	24.35	238.9	1:2.46	120	1,177.20	18.12	177.79
65	637.65	24.76	242.89	1:2.63	125	1,226.25	18.43	180.76
70	686.7	25.17	246.87	1:2.78	130	1,275.30	18.73	183.72



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแรงต่อมวลของวัตถุและมวลของวัตถุ ตั้งแต่ 30 กิโลกรัมถึง 70 กิโลกรัม

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแรงต่อมวลของวัตถุและมวลของวัตถุ พบว่าเมื่อมวลของวัตถุเพิ่มขึ้นอัตราส่วนของแรงที่ใช้ต่อมวลของวัตถุมีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถช่วยผ่อนแรงในการเคลื่อนย้ายวัตถุต่างระดับชั้นได้โดยผู้ใช้งานเพียงคนเดียว

## บทที่ 5

### สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

1. การออกแบบ โครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจะใช้เหล็กเหนียว (St 37) และมีหน้าตัดชนิดต่างๆตามมาตรฐานของเจไอเอส (JIS: Japanese Industrial Standard) ซึ่งมีราคาไม่แพง
2. เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดถูกออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาหรือกรณีที่ต้องการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่
3. การออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจะคำนึงถึงระบบควบคุมความปลอดภัยแก้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลัก โดยการติดตั้งลิมิตสวิตช์และวงจรเตือนไฟแบตเตอรี่ตก
4. การออกแบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจะคำนึงถึงการหาได้ง่ายของวัสดุที่จะนำมาสร้าง
5. วัสดุที่นำมาใช้ทำโครงสร้าง ได้ทำการคำนวณโดยใช้ภาระสูงสุด และใช้ค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทำให้ได้ขนาดและความแข็งแรงที่เหมาะสม
6. โครงสร้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดจะถูกตะไบมุมของเหล็กออก และทาด้วยสีกันสนิมเพื่อความสวยงามและความปลอดภัยในการใช้งาน

#### 5.2 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่สร้างขึ้น พบว่าเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถยกน้ำหนักได้สูงสุด 70 กิโลกรัม สามารถยืดตัวออกได้สูงสุด 0.7 เมตร และสามารถใช้งานได้โดยผู้ทดสอบเพียงคนเดียว การทำงานของชุดส่งถ่ายกำลัง ชุดส่งผ่านกำลัง ชุดความปลอดภัย และการเคลื่อนที่ขึ้นลงของโครงชั้นใน ทำงานได้เป็นปกติตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยมุมที่ทำให้ผู้ทดสอบต้องใช้แรงในการใช้งานเครื่องมากที่สุดคือมุม 48.09 องศา และแรงที่ผู้ทดสอบใช้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 25.17 กิโลกรัม หรือ 246.87 นิวตัน ในการยกวัตถุที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม ซึ่งแรงที่มีค่าสูงสุดนี้จะใช้พร้อมกับการกดสวิตช์เครื่องด้วย แรงของผู้ทดสอบที่ต้องใช้จึงค่อนข้างลดลง นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้งานเครื่องในการเคลื่อนย้ายวัตถุขนาดตั้งแต่ 30 กิโลกรัมถึง 70 กิโลกรัม เมื่อมวลของวัตถุเพิ่มขึ้นอัตราส่วนของแรงที่ใช้ต่อมวลของวัตถุจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด จึงเป็นการลดความเสี่ยงที่จะเกิดอาการบาดเจ็บที่หลังของผู้ทดสอบที่อาจเกิดขึ้นได้ มากกว่าการที่ผู้ทดสอบยกวัตถุที่มีน้ำหนักสูงถึง 70 กิโลกรัม โดยไม่มีเครื่องมือช่วยแต่อย่างใด

เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดที่สร้างขึ้นมีการทำงานที่ดีในระดับหนึ่ง เพื่อให้เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการปฏิบัติงาน ควรมีการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดต่อไป

### 5.3 อุปสรรคและปัญหาในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

1. ทางคณะผู้จัดทำไม่มีประสบการณ์ในการสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดมาก่อน ทำให้ต้องเสียเวลานานในการปรับปรุง แก๊ซ และสร้างเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดให้สามารถทำงานได้
2. ชั้นส่วนบางชั้นไม่สามารถขึ้นรูปหรือประกอบด้วยเครื่องมือที่มีอยู่ได้ จึงต้องจ้างสั่งทำพิเศษ
3. ชั้นส่วนบางชั้นเกิดการชำรุดเสียหายระหว่างการทดสอบ ทำให้ต้องเสียเวลาในการสั่งทำชั้นส่วนนั้น
4. เหล็กเหนียว (St 37) เป็นเหล็กที่แข็งแรง ราคาไม่แพง แต่มีน้ำหนักมาก และแบตเตอรี่ที่ใช้จ่ายพลังงานให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้าก็มีน้ำหนักมากเช่นกัน จึงทำให้เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดมีน้ำหนักรวมมากกว่าที่ควรจะเป็น

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การเชื่อมต่อด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ผู้เชื่อมต้องมีประสบการณ์และความชำนาญเป็นอย่างดี และต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของรอยเชื่อมและการเปลี่ยนรูปร่างของโลหะเมื่อได้รับความร้อน
2. การใช้งานเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดควรสับสวิตซ์ให้โครงชั้นในยึดตัวเล็กน้อยก่อนแอนตัวเครื่องเข้าหาผู้ใช้งาน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแก่แกนของมอเตอร์ไฟฟ้าและแกนของสกรูลูกกลิ้ง
3. ควรติดตั้งระบบเบรกที่ชุดสกรูลูกกลิ้งเพื่อป้องกันอุบัติเหตุในกรณีที่แบตเตอรี่หรือมอเตอร์ไฟฟ้ามีปัญหาในขณะที่ใช้งาน หรืออาจเปลี่ยนสกรูลูกกลิ้งเป็นสกรูคางหมูแทนเพื่อเพิ่มความปลอดภัยมากขึ้น
4. ไม่ควรใช้เครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดโดยกวดลูที่มีน้ำหนักเกินขอบเขตที่กำหนดไว้
5. เมื่อไม่ใช้งานเครื่องควรถอดสายไฟออกบางจุดเพื่อไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร เพื่อป้องกันแบตเตอรี่หมดโดยไม่ได้ใช้งาน
6. ควรตรวจเช็คความพร้อมของเครื่องก่อนใช้งานทุกครั้ง ได้แก่ ไฟฟ้าในแบตเตอรี่ การขันแน่นของน็อต และความฉีกขาดของแกนสกรูลูกกลิ้ง

## หนังสืออ้างอิง

- [1] กระทรวงมหาดไทย, 2543. มาตรฐานบันไดในอาคาร. กฎกระทรวง, (ฉบับที่ 55), 5-6
- [2] ขวัญชัย ลำปา, ปรมพร วิจิตร และพงษ์พันธ์ สุวรรณโชติ, 2541. รถเข็นสินค้าภายในตลาดสด. เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา.
- [3] จารุ สุรินทะ, ฉัตรนภา สาทิ และณัฐคนัย เอกจีน, 2551. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประเมินปัญหาทางด้านกายศาสตร์: การยกเคลื่อนย้ายด้วยแรงมนุษย์. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] จีระศักดิ์ กันทา, ทฤษฎี มหานิล และสุกิจ พูลทาจกร, 2548. รถไฟฟ้าสำหรับคนพิการ. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา.
- [5] ไชยชาญ หินเกิด, 2546. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- [6] ทวีศักดิ์ มหารธรรม์ และปณิธาน มั่นประเทศ, 2545. เครื่องยกไฮดรอลิกส์. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา.
- [7] ปฏิภาณ ปัญญณี, 2541. รถเข็นสำหรับขนย้ายผลสตรอเบอรี่. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา.
- [8] พรจิต ประทุมสุวรรณ, 2547. พื้นฐานการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.
- [9] พัฒนพงษ์ พงษ์อำไพ, 2537. รถเข็นทุนแรงสำหรับการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- [10] วริทธิ์ อิงภรณ์ และชาญ ถนังงาน, 2522. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- [11] สมาร์ทเลิร์นนิ่งทีม, 2551. Electronic Learning By Doing. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
- [12] สาคกร คันชโชติ, 2520. การออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- [13] สุรเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์, 2541. กลศาสตร์ของแข็ง. กรุงเทพฯ : พิมพ์ที่บริษัท เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด.
- [14] อภิวัฒน์ พลชัย, 2533. ความแข็งแรงของวัสดุ. โครงการตำราภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [15] พรชัย โกพัฒดา. ตัวเก็บประจุ. หน้า 1  
URL: [http://www.mwit.ac.th/~ponchai/webCapacitor/WBTPI\\_Model/Capacitor/capacitor3.html](http://www.mwit.ac.th/~ponchai/webCapacitor/WBTPI_Model/Capacitor/capacitor3.html).
- [16] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง. อุปกรณ์ในการควบคุมมอเตอร์และสัญลักษณ์.  
URL: <http://www.lpc.rmutl.ac.th/elcen/elearning/motorcontrol/module2/symbole.html>.
- [17] Basic Engineering. Standard for Iron. 2007.  
URL: <http://www.supradit.com/contents/engineer/standard%20for%20iron.htm>.

[18] mat-con. MY1016Z3.

URL:[http://shop.matcon.net/epages/62158737.sf/de\\_DE/?ObjectPath/Shops/62158737/Products/my1016z3](http://shop.matcon.net/epages/62158737.sf/de_DE/?ObjectPath/Shops/62158737/Products/my1016z3).

[19] pc-wheel. ลูกล้ออุตสาหกรรมโพลียูรีเทน. หน้า 1. URL: <http://www.pc-wheel.com/aticle1.html>.

[20] size Thailand. ค่าเฉลี่ยรูปร่างของคนไทย, 2010. [http://sizethailand.org/region\\_all.html](http://sizethailand.org/region_all.html).

[21] ทรานซิสเตอร์. หน้า 1 URL: <http://th.wikipedia.org/wiki/ทรานซิสเตอร์>.

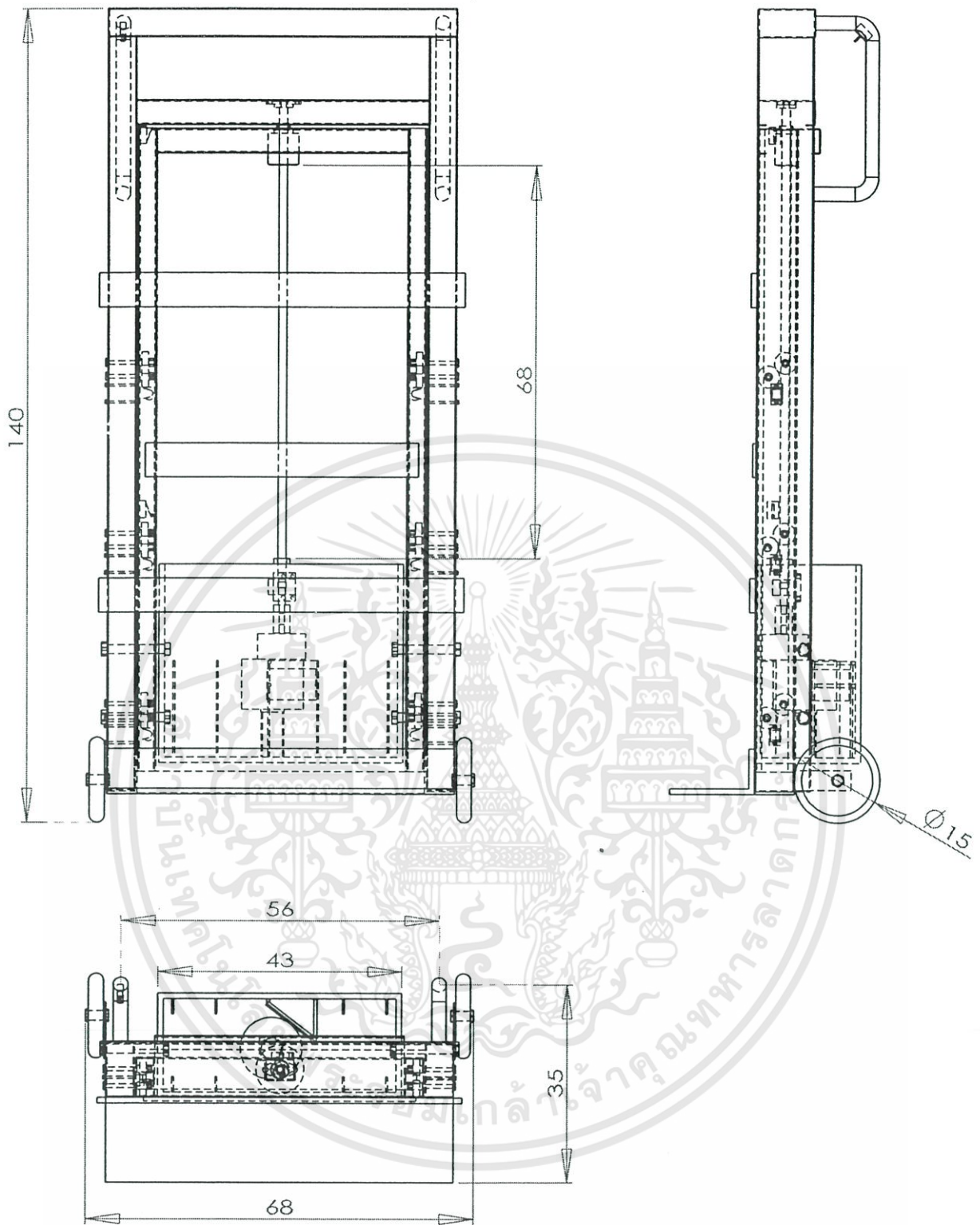
[22] แบตเตอรี่. หน้า 1 URL: <http://th.wikipedia.org/wiki/แบตเตอรี่>.





ภาคผนวก ก  
แบบเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:		A4	
CHK'D							Stair Climbing Lift			
APPV'D										
MFG							DWG NO.		S-2010-00	
Q.A							MATERIAL:		SCALE: 1:20	
							WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	

# Stair Climbing Lift

S-2010-00

A4

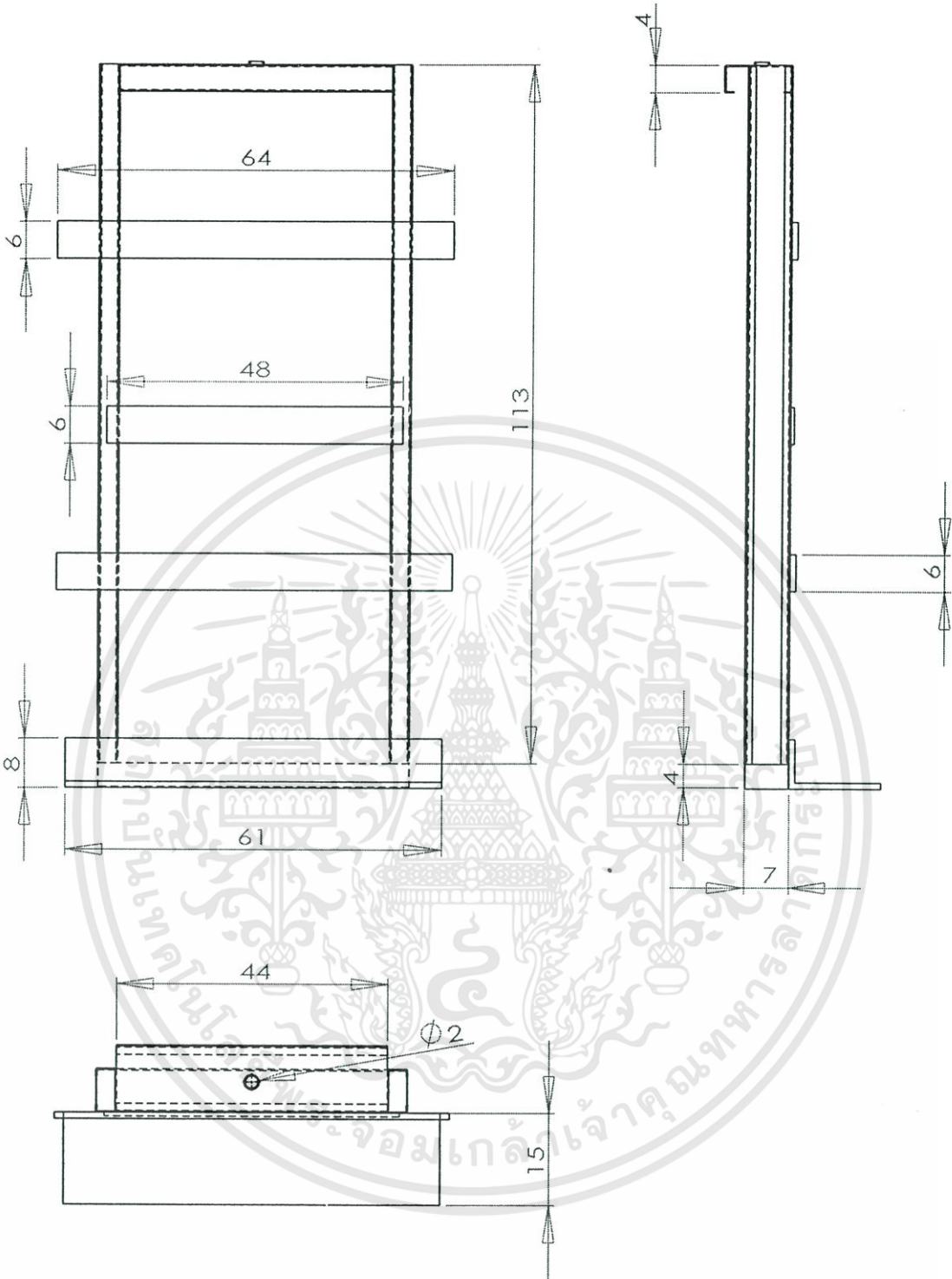
A

B

C

D

E



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:  <b>Inner Frame</b>				
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO. <b>S-2010-02</b>		A4
							WEIGHT:		SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1

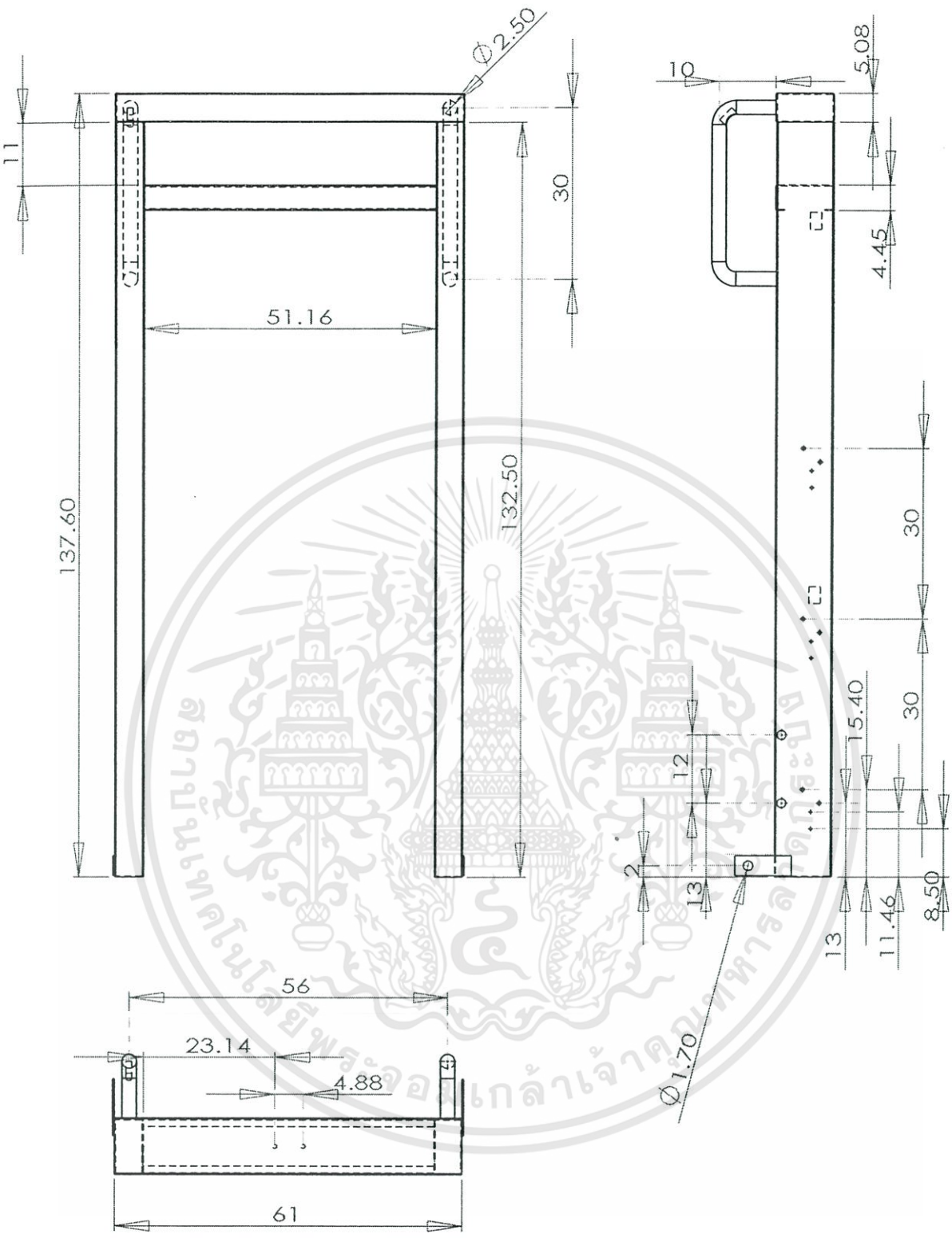
A

B

C

D

E



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:		Outer Frame	
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A							MATERIAL:		DWG NO. S-2010-01	
WEIGHT:			แปลงเนื้อหา และต้อง		SCALE: 1:10		เจ้าของเอกสารทศ		SHEET 1 OF 1	

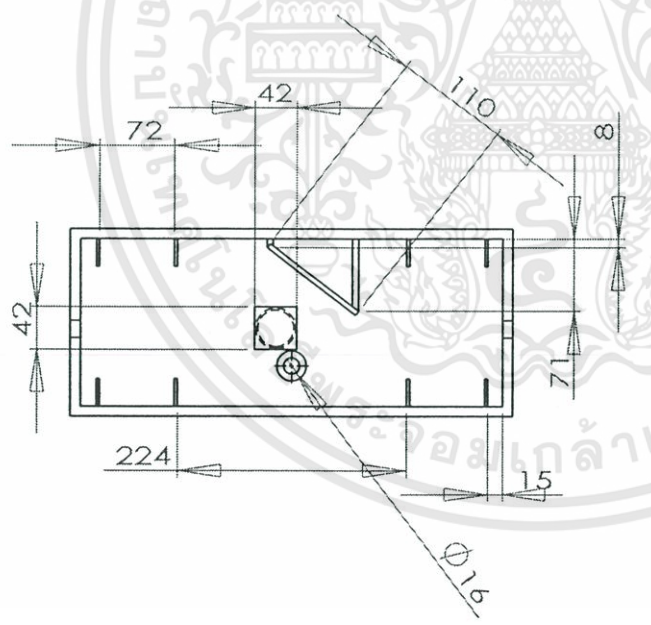
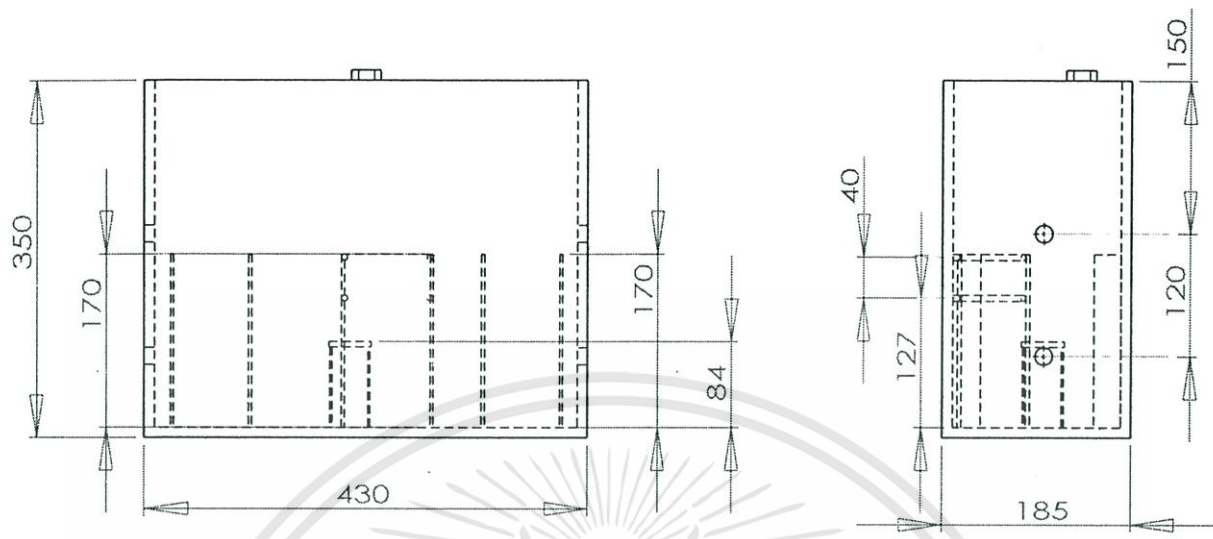
A

B

C

D

E



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHKD						Transmission Box			
APPV'D									
MFG						DWG NO.		A4	
Q.A				MATERIAL:		S-2010-03			
				WEIGHT:		SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ในนิตยสารหรือสื่อมวลชนโดยไม่ได้รับอนุญาต  
 วิศวกรมีใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาวิชาช่างเครื่องกล  
 วิศวกรมีใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาวิชาช่างเครื่องกล



ภาคผนวก ข  
ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 1 สัดส่วนต่างๆของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง

ขนาด (นิ้ว)	เกลียวเล็กเหลี่ยม		เกลียวแอกมิ			เกลียวนัตเตอร์ส (แนะนำให้ใช้)		
	เกลียว/นิ้ว	Minor Dia.	เกลียว/นิ้ว	Reg. Minor Dia.	Stub Minor Dia.	เกลียว/นิ้ว		
$\frac{1}{4}$	10	0.163	16	0.188	0.213			
$\frac{5}{16}$			14	0.241	0.270			
$\frac{3}{8}$			8	0.266	12	0.292	0.325	
$\frac{7}{16}$					12	0.354	0.388	
$\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	0.366	10	0.400	0.440	20		
$\frac{5}{8}$	$5\frac{1}{2}$	0.466	8	0.500	0.550	20		
$\frac{3}{4}$	5	0.575	6	0.583	0.650	16		
$\frac{7}{8}$	$4\frac{1}{2}$	0.681	6	0.708	0.755	16		
1	4	0.781	5	0.800	0.880	12		
$1\frac{1}{2}$			5	0.925	1.005	12		
$1\frac{1}{4}$			$3\frac{1}{2}$	1.000	5	1.050	1.130	10
$1\frac{3}{8}$			4	1.125	1.225	1.225	10	
$1\frac{1}{2}$	3	1.208	4	1.250	1.350	8		
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	1.400	4	1.500	1.600	7		
2	$2\frac{1}{4}$	1.612	4	1.750	1.850	6		
$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	1.862	3	1.917	2.050	6		
$2\frac{1}{2}$	2	2.063	3	2.167	2.300	5		
$2\frac{3}{4}$	2	2.313	3	2.417	2.550	5		
3	$1\frac{3}{4}$	2.500	2	2.500	2.700	5		
$3\frac{1}{2}$	$1\frac{5}{8}$	2.962	2	3.000	3.200	5		
4	$1\frac{1}{2}$	3.418	2	3.500	3.700	4		
$4\frac{1}{2}$			2	4.000	4.200	4		
5			2	4.500	4.700	4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 มิติมูลฐานของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ISO 2901 - 1977 (E)

P	$\alpha_c$	$H_2 = h_2$	$H_1$	$R_1 \text{ max.}$	$R_2 \text{ max.}$
1.5	0.15	0.9	0.75	0.08	0.15
2	0.25	1.25	1	0.13	0.25
3	0.25	1.75	1.5	0.13	0.25
4	0.25	2.25	2	0.13	0.25
5	0.25	2.75	2.5	0.13	0.25
6	0.5	3.5	3	0.25	0.5
7	0.5	4	3.5	0.25	0.5
8	0.5	4.5	4	0.25	0.5
9	0.5	5	4.5	0.25	0.5
10	0.5	5.5	5	0.25	0.5
12	0.5	6.5	6	0.25	0.5
14	1	8	7	0.5	1
16	1	9	8	0.5	1
18	1	10	9	0.5	1
20	1	11	10	0.5	1
22	1	12	11	0.5	1
24	1	13	12	0.5	1
28	1	15	14	0.5	1
32	1	17	16	0.5	1
36	1	19	18	0.5	1
40	1	21	20	0.5	1
44	1	23	22	0.5	1

ขนาดเป็น mm

ตารางที่ ผจ 3 สูตรสำหรับคำนวณการโก่งของคานด้วยวิธีซ้อนทับ

Case no.	Type of load	Max. moment	Slope at end	Deflection equation (y is positive downward)	Maximum deflection
1		$M = -PL$	$\theta = \frac{PL^2}{2EI}$	$EIy = \frac{Px^2}{6}(3L - x)$	$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$
2		$M = -Pa$	$\theta = \frac{Pa^2}{2EI}$	$EIy = \frac{Px^2}{6}(3a - x)$ for $0 < x < a$ $EIy = \frac{Pa^2}{6}(3x - a)$ for $a < x < L$	$\delta = \frac{Pa^2}{6EI}(3L - a)$
3		$M = -\frac{w_0L^2}{2}$ $= -\frac{WL}{2}$	$\theta = \frac{w_0L^3}{6EI}$ $= \frac{WL^2}{6EI}$	$EIy = \frac{w_0x^2}{24}(6L^2 - 4Lx + x^2)$	$\delta = \frac{w_0L^4}{8EI} = \frac{WL^3}{8EI}$
4		$M = -\frac{w_0L^3}{6}$ $= -\frac{WL}{3}$	$\theta = \frac{w_0L^3}{24EI}$ $= \frac{WL^2}{12EI}$	$EIy = \frac{w_0x^2}{120L}(10L^3 - 10L^2x + 5Lx^2 - x^3)$	$\delta = \frac{w_0L^4}{30EI} = \frac{WL^3}{15EI}$
5		$M = \dots M$	$\theta = \frac{ML}{EI}$	$EIy = \frac{Mx^2}{2}$	$\delta = \frac{ML^2}{2EI}$
6		$M = \frac{PL}{4}$	$\theta_L = \theta_R = \frac{PL^2}{16EI}$	$EIy = \frac{Px}{12} \left( \frac{3}{4}L^3 - x^2 \right)$ for $0 < x < \frac{L}{2}$	$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผง 3 สูตรสำเร็จสำหรับการคำนวณการโก่งของคานด้วยวิธีช้อนทับ (ต่อ)

Case no.	Type of load	Max. moment	Slope at end	Deflection equation (y is positive downward)	Maximum deflection
7		$M = \frac{Pab}{L}$ at $x = a$	$\theta_L = \frac{Pb(L^2 - b^2)}{6EI}$ $\theta_R = \frac{Pa(L^2 - a^2)}{6EI}$	$EIy = \frac{Pbx}{6L}(L^2 - x^2 - b^2)$ for $0 < x < a$ $EIy = \frac{Pb}{6L} \left[ \frac{L}{b}(x-a)^3 + (L^2 - b^2)x - x^3 \right]$ for $a < x < L$	$\delta = \frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EI}$ at $x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$ At center (not max.) $\delta = \frac{Pb}{48EI} (3L^2 - 4b^2)$ when $a > b$
8		$M = \frac{w_0 L^2}{8}$ $= \frac{w_0 L}{8}$	$\theta_L = \theta_R = \frac{w_0 L^3}{24EI}$	$EIy = \frac{w_0 x}{24} (L^3 - 2Lx^2 + x^3)$	$\delta = \frac{5w_0 L^4}{384EI} = \frac{5WL^3}{384EI}$
9		$M = \frac{w_0 L^2}{9\sqrt{3}}$ $= \frac{2w_0 L}{9\sqrt{3}}$	$\theta_L = \frac{7w_0 L^3}{360EI}$ $\theta_R = \frac{8w_0 L^3}{360EI}$	$EIy = \frac{w_0 x}{360L} (7L^4 - 10L^2 x^2 + 3x^4)$	$\delta = \frac{2.5w_0 L^4}{384EI} = \frac{5WL^3}{384EI}$ at $x = 0.519L$
10		$M = \frac{w_0 L^2}{12}$ $= \frac{w_0 L}{6}$	$\theta_L = \theta_R = \frac{5w_0 L^3}{192EI}$	$EIy = \frac{w_0 x}{960L} (25L^4 - 40L^2 x^2 + 16x^4)$ for $0 < x < \frac{L}{2}$	$\delta = \frac{w_0 L^4}{120EI} = \frac{WL^3}{60EI}$
11		$M = M$	$\theta_L = \frac{ML}{6EI}$ $\theta_R = \frac{ML}{3EI}$	$EIy = \frac{MLx}{6} \left( 1 - \frac{x^2}{L^2} \right)$	$\delta = \frac{ML^2}{9\sqrt{3}EI}$ at $x = \frac{L}{\sqrt{3}}$ At center (not max.) $\delta = \frac{ML^2}{16EI}$
12		$M = M$	$\theta_L = \frac{ML}{3EI}$ $\theta_R = \frac{ML}{6EI}$	$EIy = \frac{Mx}{6L} (L - x)(2L - x)$	$\delta = \frac{ML^2}{9\sqrt{3}EI}$ at $x = \left( L - \frac{L}{\sqrt{3}} \right)$ At center (not max.) $\delta = \frac{ML^2}{16EI}$

ตารางที่ ผข 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายโดยประมาณ

วัสดุ	สัมประสิทธิ์ความเสียหาย			
	สถิต f		เลื่อน f <sub>o</sub>	
	แห้ง	เปียก	แห้ง	เปียก
เหล็กกล้ากับเหล็กกล้า	0.15-0.20	0.10	0.10-0.15	0.05
เหล็กกล้ากับเหล็กหล่อ ทองเหลืองหรือบรอนซ์	0.18-0.25	0.10	0.15-0.20	0.05
เหล็กหล่อกับเหล็กหล่อ หรือบรอนซ์	0.22-0.26	0.16	0.15-0.20	0.10
โลหะกับไม้	0.50-0.60	0.10	0.20-0.50	0.08
ไม้กับไม้	0.50-0.70	0.20	0.20-0.40	0.005-0.15
สายพานหนังกับเหล็กหล่อ หรือเหล็กหล่อเหนียว	0.50-0.60	0.30	0.30-0.50	0.20
ปะเก็นกับโลหะ	0.60	0.25	0.25	0.12
แผ่นผ้า เบรคและคลัตช์ ที่ทำจากใยหินกับเหล็กกล้า เหล็กหล่อเหนียว หรือเหล็กหล่อ	-	-	0.30-0.50	0.15-0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 5 ผลการสำรวจรูปร่างของคนไทยทั่วประเทศจาก SizeThailand

ค่าเฉลี่ยรูปร่างของคนไทย

เพศ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร
ชาย	68.83	169.46	39.10	99.20	33.50	84.79	37.40	95.0
หญิง	57.40	157.00	36.00	91.09	31.50	79.83	38.50	97.8

ค่าเฉลี่ยแยกตามกลุ่มช่วงอายุผู้ชาย

กลุ่มอายุ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร
16-25	64.24	171.36	37.60	95.03	30.60	77.16	36.40	92.08
26-35	70.22	170.98	39.30	99.82	33.00	83.75	37.60	95.51
36-45	71.01	169.49	39.80	100.90	34.10	86.46	37.80	96.00
46-59	71.07	168.17	39.80	101.10	35.00	88.89	37.90	96.17
60 ขึ้นไป	66.75	165.57	38.70	98.44	34.90	88.62	37.20	94.42

ค่าเฉลี่ยแยกตามกลุ่มช่วงอายุผู้หญิง

กลุ่มอายุ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร
16-25	52.70	159.32	33.60	84.89	28.60	72.67	36.30	92.22
26-35	56.26	158.28	35.00	88.42	30.40	76.99	37.60	95.32
36-45	59.79	157.27	36.30	91.80	31.70	80.34	38.40	97.18
46-59	60.05	155.56	37.40	94.82	33.10	84.03	38.80	98.49
60 ขึ้นไป	58.58	153.49	37.60	95.51	33.80	85.81	38.70	98.22

ร้อยละกลุ่มประชากรจำแนกตามภาวะโภชนาการ โดยใช้ดัชนีมวลกายของผู้ใหญ่ในแถบเอเชีย

กลุ่มอายุ	ผอม ( < 18.5 )	ปกติ ( 18.5-22.9 )	ท้วม ( 23.0-24.9 )	อ้วนปานกลาง ( 25.0-29.9 )	อ้วนมาก ( > 30 )
ชาย	5.3	36.2	21.2	31.0	6.3
หญิง	9.7	42.3	16.5	24.0	7.5

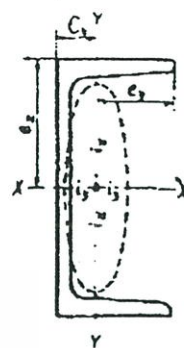
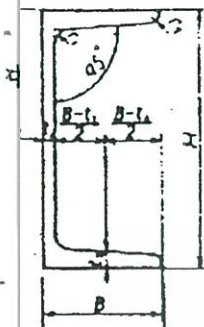
ตารางที่ ผช 6 ตารางเปรียบเทียบผลการสำรวจของ สมอ. กับ SizeThailand – ผู้ชาย

สัดส่วน	โครงการสำรวจปี พ.ศ.	อายุ 17-19 ปี	อายุ 20-29 ปี	อายุ 30-39 ปี	อายุ 40-49 ปี
ความสูง (เซนติเมตร)	2524-2525	164.4	164.2	163.4	162.4
	2529-2530	166.7	166.5	166.2	164.8
	2536-2537	167.0	167.0	166.0	165.0
	2543-2544	168.4	167.2	166.6	166.0
	Sizethailand	172.3	171.4	170.2	169.2
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	2524-2525	52.8	55.2	58.3	60.4
	2529-2530	55.2	57.4	61.4	64.1
	2536-2537	56.3	59.3	62.2	63.3
	2543-2544	59.2	60.1	64.3	66.4
	Sizethailand	63.3	67.1	71.0	71.1
รอบอก (เซนติเมตร)	2524-2525	80.0	83.1	85.3	87.8
	2529-2530	82.0	84.5	87.9	90.3
	2536-2537	82.3	85.2	88.0	89.5
	2543-2544	83.3	84.4	87.9	89.5
	Sizethailand	93.8	96.9	100.0	100.4
รอบเอว (เซนติเมตร)	2524-2525	66.0	69.3	74.5	78.5
	2529-2530	69.6	72.4	78.4	82.8
	2536-2537	69.7	73.0	78.0	81.4
	2543-2544	74.1	75.4	80.1	83.2
	Sizethailand	75.7	80.1	85.5	87.5
รอบสะโพก (เซนติเมตร)	2524-2525	83.6	84.6	86.8	88.2
	2529-2530	85.2	86.5	89.1	90.7
	2536-2537	85.6	87.4	89.6	90.4
	2543-2544	87.2	87.6	90.3	91.4
	Sizethailand	91.4	93.8	96.1	96.1

ตารางที่ ผข 7 ตารางเปรียบเทียบผลการสำรวจของ สมอ. กับ SizeThailand - ผู้หญิง

สัดส่วน	โครงการสำรวจปี พ.ศ.	อายุ 17-19 ปี	อายุ 20-29 ปี	อายุ 30-39 ปี	อายุ 40-49 ปี
ความสูง (เซนติเมตร)	2524-2525	153.9	153.4	152.9	152.9
	2529-2530	154.6	154.2	153.8	153.3
	2536-2537	155.8	155.4	154.9	153.9
	2543-2544	155.9	155.7	154.7	153.8
	Sizethailand	159.5	159.0	157.8	157.0
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	2524-2525	47.1	47.7	51.5	54.8
	2529-2530	48.1	48.3	51.0	54.6
	2536-2537	48.7	49.1	52.5	55.1
	2543-2544	49.2	50.2	53.5	56.5
	Sizethailand	51.7	53.9	57.5	59.8
รอบอก (เซนติเมตร)	2524-2525	80.0	80.6	84.1	87.7
	2529-2530	81.8	81.6	84.3	87.6
	2536-2537	81.4	82.1	85.2	88.7
	2543-2544	81.9	82.7	86.2	89.5
	Sizethailand	84.6	86.3	90.2	93.4
รอบเอว (เซนติเมตร)	2524-2525	63.5	64.3	68.9	72.7
	2529-2530	62.5	62.5	66.4	70.7
	2536-2537	64.9	65.0	69.3	73.4
	2543-2544	64.3	65.5	68.9	72.6
	Sizethailand	71.7	74.1	78.8	81.9
รอบสะโพก (เซนติเมตร)	2524-2525	87.1	87.9	90.8	93.0
	2529-2530	87.6	87.8	90.2	92.4
	2536-2537	88.0	88.4	91.2	93.0
	2543-2544	88.5	89.1	91.5	93.6
	Sizethailand	91.3	93.3	96.4	98.0

ตารางที่ ผข 8 ขนาดมาตรฐานของเหล็กทรง



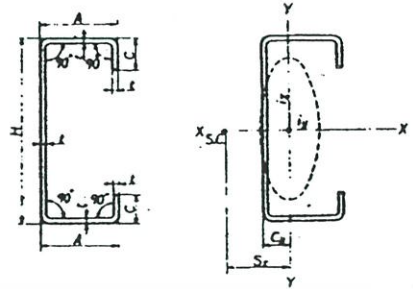
Geometrical moment of inertia  $I = a^2$   
 Radius of gyration or area  $i = \sqrt{I a}$   
 Modulus of section  $Z = I e$   
 (a : sectional area)

**CHANNEL JIS G 3192**

Standard sectional dimension mm					Sectional Area cm <sup>2</sup>	Unit Weight kg/m	Reference							
H x B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>			Position of Center of Gravity cm		Geometrical moment of inertia cm <sup>4</sup>		Radius of Gyration of Area cm		Modulus of Section cm <sup>3</sup>	
							Cx	Cy	ix	iy	Zx	Zy		
75 x 40	5	7	8	4	8.818	6.92	0	1.28	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100 x 50	5	7.5	8	4	11.92	9.38	0	1.54	188	25.0	3.97	1.49	37.8	7.52
125 x 65	6	8	8	4	17.11	13.4	0	1.90	424	61.8	4.98	1.90	67.8	13.4
150 x 75	6.5	10	10	5	23.71	18.8	0	2.28	861	117	6.03	2.22	115	22.4
150 x 75	9	12.5	15	7.5	30.59	24.0	0	2.31	1050	147	5.86	2.19	140	28.3
180 x 75	7	10.5	11	5.5	27.20	21.4	0	2.13	1380	131	7.12	2.19	153	24.3
200 x 80	7.5	11	12	6	31.33	24.6	0	2.21	1950	168	7.88	2.32	195	29.1
200 x 90	8	13.5	14	7	38.65	30.3	0	2.74	2490	277	8.02	2.68	249	44.2
250 x 90	9	13	14	7	44.07	34.8	0	2.40	4180	294	9.74	2.58	334	44.5
250 x 90	11	14.5	17	8.5	51.17	40.2	0	2.40	4680	329	9.56	2.54	374	49.9
300 x 90	9	13	14	7	48.57	38.1	0	2.22	6440	309	11.5	2.52	429	45.7
300 x 90	10	15.5	19	9.5	55.74	43.8	0	2.34	7410	360	11.5	2.54	494	54.1
300 x 90	12	16	19	9.5	61.90	48.6	0	2.28	7970	379	11.3	2.48	525	56.4
380 x 100	10.5	16	18	9	69.39	54.5	0	2.41	14500	535	14.5	2.78	763	70.5
380 x 100	13	16.5	18	9	78.96	62.0	0	2.33	15600	565	14.1	2.67	823	73.6
380 x 100	13	20	24	12	85.71	67.3	0	2.54	17600	655	14.3	2.76	926	87.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 9 ขนาดมาตรฐานของเหล็กทรงพับ



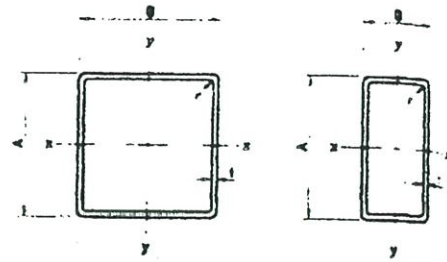
# LIGHT LIP CHANNEL

JIS G3350

Dimensions mm		Sectional Area cm <sup>2</sup>	Unit Weight kg/m	Centre of Gravity cm		Secondary Moment of Area cm <sup>4</sup>		Radius of Gyration of Area cm		Modulus of Section cm <sup>3</sup>		Centre of Shear cm	
HxAxC	t			Cx	Cy	Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy	Sx	Sy
250 x 75 x 25	4.5	18.92	12.1	0	2.07	1690	129	9.44	2.62	135	23.8	5.1	0
	3.2	16.67	11.7	0	2.32	990	121	7.61	2.69	99.0	23.3	5.6	0
200 x 75 x 20	4.5	14.95	10.2	0	2.32	895	110	7.74	2.72	89.5	21.3	5.7	0
	4.0	12.13	8.7	0	2.33	736	92.3	7.70	2.76	73.6	17.8	5.7	0
	3.2	16.22	11.7	0	2.19	963	109	7.71	2.60	96.3	20.6	5.3	0
200 X 75 X 20	4.0	14.55	10.3	0	2.19	871	100	7.74	2.62	87.1	18.9	5.3	0
	3.2	11.81	8.5	0	2.19	716	84.1	7.79	2.67	71.6	15.8	5.4	0
	4.5	14.42	10.3	0	2.65	501	109	5.90	2.75	66.9	22.5	6.3	0
150 X 75 X 25	4.0	12.95	9.2	0	2.65	455	99.8	5.93	2.78	60.6	20.6	6.3	0
	3.2	10.53	7.6	0	2.66	375	83.6	5.97	2.82	50.0	17.3	6.4	0
	4.0	11.75	8.4	0	2.11	401	63.7	5.48	2.33	53.3	14.5	5.0	0
150 X 65 X 20	3.2	9.567	6.8	0	2.11	332	53.8	5.89	2.37	44.3	12.2	5.1	0
	2.3	7.012	5.0	0	2.12	248	41.1	5.94	2.42	33.0	9.37	5.2	0
	4.5	11.72	8.4	0	1.54	368	35.7	5.60	1.75	49.0	10.5	3.7	0
150 X 50 X 20	3.2	8.607	6.2	0	1.54	280	28.3	5.71	1.81	37.4	8.19	3.8	0
	2.3	6.322	4.6	0	1.55	210	21.9	5.77	1.86	28.0	6.33	3.8	0
	4.5	10.59	7.7	0	1.68	238	33.5	4.74	1.78	38.0	10.0	4.0	0
125 X 50 X 20	4.0	9.548	6.9	0	1.68	217	33.1	4.77	1.81	34.7	9.38	4.0	0
	3.2	7.807	5.6	0	1.68	181	26.6	4.82	1.85	29.0	8.02	4.0	0
	2.3	5.747	4.1	0	1.69	137	20.6	4.88	1.89	21.9	6.22	4.1	0
120 X 60 X 25	4.5	11.72	8.4	0	2.25	252	58.0	4.63	2.22	41.9	15.5	5.3	0
120 X 60 X 20	3.2	8.287	6.0	0	2.12	186	40.9	4.74	2.22	31.0	10.5	4.9	0
	2.3	6.092	4.4	0	2.13	140	31.3	4.79	2.27	23.3	8.10	5.1	0
120 X 40 X 20	3.2	7.007	5.0	0	1.32	144	15.3	4.53	1.48	24.0	5.71	3.4	0
100 X 50 X 20	4.5	9.469	6.8	0	1.86	139	30.9	3.82	1.81	27.7	9.82	4.3	0
	4.0	8.548	6.1	0	1.86	127	28.7	3.85	1.83	25.4	9.13	4.3	0
	3.2	7.007	5.0	0	1.86	107	24.5	3.90	1.87	21.3	7.81	4.4	0
	2.8	6.205	4.5	0	1.88	99.8	23.2	3.96	1.91	20.0	7.44	4.3	0
	2.3	5.172	3.7	0	1.86	80.7	19.0	3.95	1.92	16.1	6.06	4.4	0
	2.0	4.537	3.2	0	1.86	71.4	16.9	3.97	1.93	14.3	5.40	4.4	0
	1.6	3.672	2.6	0	1.87	58.4	14.0	3.99	1.95	11.7	4.47	4.5	0
90 X 45 X 20	3.2	6.367	4.6	0	1.72	76.9	18.3	3.48	1.69	17.1	6.57	4.1	0
	2.3	4.712	3.4	0	1.73	58.6	14.2	3.53	1.74	13.0	5.14	4.1	0
	1.6	3.352	2.4	0	1.73	42.6	10.5	3.56	1.77	9.46	5.80	4.2	0
75 X 45 X 15	2.3	4.137	3.0	0	1.72		11.8	3.00	1.69	9.90	4.24	4.0	0
	2.0	3.637	2.6	0	1.72		10.5	3.01	1.70	8.79	3.76	4.0	0
	1.6	2.952	2.1	0	1.72		8.71	3.03	1.72	7.24	3.13	4.1	0
75 X 35 X 15	2.3	3.677	2.6	0	1.29	31.0	6.58	2.91	1.34	8.28	2.98	3.1	0
70 X 40 X 25	1.6	3.032	2.2	0	1.80	22.0	8.00	2.69	1.62	6.29	3.64	4.4	0
	2.3	2.872	2.1	0	1.06	15.6	3.32	2.33	1.07	5.20	1.71	2.5	0
60 X 30 X 10	2.0	2.537	1.8	0	1.06	14.0	3.01	2.35	1.09	4.65	1.55	2.5	0
	1.6	2.072	1.5	0	1.06	11.6	2.56	2.37	1.11	3.88	1.32	2.5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ผข 10  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

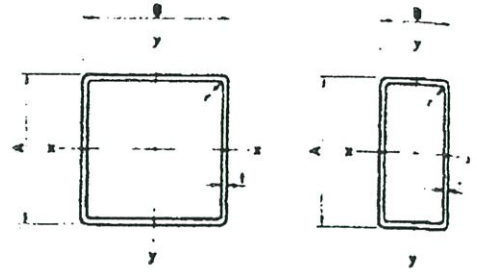
# WELDED STEEL TUBING SQUARE TUBE RECTANGULAR TUBE



## Metric Size

Dimension A x B	mm		Sectional Area mm <sup>2</sup>	Weight kg/m	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
	t	H			I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>x</sub> cm	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>
150 X 150	8.0	12	33.63	26.4	1150	1150	5.84	5.84	153	153
150 X 150	4.5	9	25.87	20.2	898	898	5.91	5.91	120	120
125 X 125	8.0	12	27.63	21.7	641	641	4.82	4.82	103	103
125 X 125	4.5	9	21.17	16.8	506	506	4.89	4.89	80.9	80.9
125 X 125	3.2	6.4	15.33	12.0	379	379	4.97	4.97	80.6	80.6
100 X 100	8.0	12	21.83	17.0	312	312	3.80	3.80	62.4	62.4
100 X 100	4.5	9	18.87	13.1	249	249	3.87	3.87	49.9	49.9
100 X 100	3.2	6.4	12.13	9.52	187	187	3.93	3.93	37.5	37.5
100 X 100	2.3	4.6	8.852	6.95	140	140	3.97	3.97	28.0	28.0
75 X 75	4.5	9	12.17	9.55	99	99	2.85	2.85	26.3	26.3
75 X 75	3.2	6.4	8.925	7.01	75.8	75.8	2.91	2.91	20.2	20.2
75 X 75	2.3	4.6	6.552	5.14	57.1	57.1	2.95	2.95	15.2	15.2
80 X 80	2.3	4.6	5.172	4.06	28.3	28.3	2.34	2.34	9.44	9.44
60 X 60	1.8	3.2	3.672	2.88	20.7	20.7	2.37	2.37	8.89	8.89
50 X 50	2.3	4.6	4.252	3.34	15.9	15.9	1.93	1.91	6.36	6.36
50 X 50	1.6	3.2	3.032	2.38	11.7	11.7	1.97	1.97	4.68	4.68
200 X 100	8.0	12	33.63	26.4	1700	577	7.12	4.14	170	115
200 X 100	4.5	9	25.87	20.2	1330	455	7.20	4.21	133	90.9
150 X 100	8.0	12	27.63	21.7	835	444	5.50	4.01	111	86.8
150 X 100	4.5	9	21.17	16.8	658	352	5.58	4.08	87.7	70.4
150 X 100	3.2	6.4	15.33	12.0	488	262	5.84	4.14	85.1	52.5
150 X 75	4.5	9	18.92	14.9	537	182	5.33	3.10	71.8	48.5
150 X 75	3.2	6.4	13.73	10.8	401	124	5.41	3.01	55.1	33.2
125 X 75	3.2	6.4	12.13	9.52	256	117	4.60	3.10	41.0	31.1
125 X 75	2.3	4.6	8.852	6.95	192	87.5	4.85	3.14	30.6	23.3
100 X 50	3.2	6.4	8.852	7.01	112	36.0	3.55	2.08	22.5	15.2
100 X 50	2.3	4.6	6.562	5.14	84.9	29.0	3.60	2.10	17.0	11.6
75 X 45	3.2	6.4	7.007	5.50	90.8	22.8	2.88	1.81	13.6	10.2
75 X 45	2.3	4.6	5.172	4.06	38.9	17.8	2.74	1.85	10.4	7.84

# WELDED STEEL TUBING SQUARE TUBE RECTANGULAR TUBE



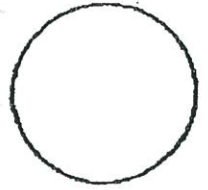
## Metric Size

Dimension A x B	mm		Sectional Area mm <sup>2</sup>	Weight kg/m	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
	t	R			I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> cm	i <sub>y</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>
150 X 150	8.0	12	33.63	26.4	1150	1150	5.84	5.84	153	153
150 X 150	4.5	9	25.87	20.2	896	896	5.91	5.91	120	120
125 X 125	8.0	12	27.63	21.7	641	641	4.82	4.82	103	103
125 X 125	4.5	9	21.17	16.8	506	506	4.89	4.89	80.9	80.9
125 X 125	3.2	6.4	15.33	12.0	379	379	4.97	4.97	60.6	60.6
100 X 100	8.0	12	21.63	17.0	312	312	3.80	3.80	62.4	62.4
100 X 100	4.5	9	16.67	13.1	249	249	3.87	3.87	49.9	49.9
100 X 100	3.2	6.4	12.13	9.52	187	187	3.93	3.93	37.5	37.5
100 X 100	2.3	4.6	8.852	6.95	140	140	3.97	3.97	28.0	28.0
75 X 75	4.5	9	12.17	9.55	99	99	2.85	2.85	26.3	26.3
75 X 75	3.2	6.4	8.925	7.01	75.6	75.6	2.91	2.91	20.2	20.2
75 X 75	2.3	4.6	6.552	5.14	57.1	57.1	2.95	2.95	15.2	15.2
60 X 60	2.3	4.6	5.172	4.06	28.3	28.3	2.34	2.34	9.44	9.44
60 X 60	1.6	3.2	3.672	2.88	20.7	20.7	2.37	2.37	6.89	6.89
50 X 50	2.3	4.6	4.252	3.34	15.9	15.9	1.93	1.91	6.36	6.36
50 X 50	1.6	3.2	3.032	2.38	11.7	11.7	1.97	1.97	4.68	4.68
200 X 100	8.0	12	33.63	26.4	1700	577	7.12	4.14	170	115
200 X 100	4.5	9	25.87	20.2	1330	455	7.20	4.21	133	90.9
150 X 100	6.0	12	27.63	21.7	835	444	5.50	4.01	111	88.8
150 X 100	4.5	9	21.17	16.6	656	352	5.58	4.08	87.7	70.4
150 X 100	3.2	6.4	15.33	12.0	488	262	5.64	4.14	65.1	52.5
150 X 75	4.5	9	18.92	14.9	537	182	5.33	3.10	71.6	48.5
150 X 75	3.2	6.4	13.73	10.8	401	124	5.41	3.01	55.1	33.2
125 X 75	3.2	6.4	12.13	9.52	256	117	4.60	3.10	41.0	31.1
125 X 75	2.3	4.6	8.852	6.95	192	67.5	4.65	3.14	30.6	23.3
100 X 50	3.2	6.4	8.862	7.01	112	36.0	3.56	2.06	22.8	15.2
100 X 50	2.3	4.6	6.562	5.14	84.9	29.0	3.60	2.10	17.0	11.6
75 X 45	3.2	6.4	7.007	5.50	50.8	22.8	2.66	1.81	13.6	10.2
75 X 45	2.3	4.6	5.172	4.06	38.9	17.6	2.74	1.85	10.4	7.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ผข 12  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ROUND BARS

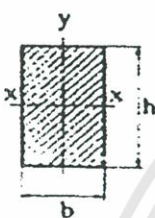
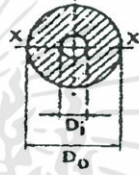
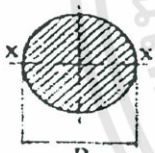

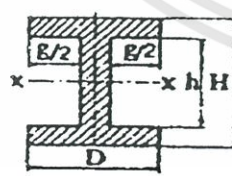
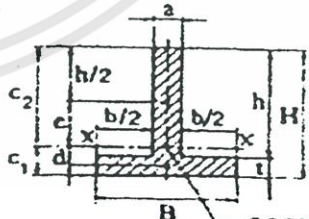
## Metric Size



Diameter		Unit Weight			Diameter		Unit Weight		
mm	in	kg/m	kg/ft	lb/ft	mm	in	kg/m	kg/ft	lb/ft
6	0.236	0.222	0.0677	0.149	40	1.579	9.87	3.01	6.032
7	0.276	0.302	0.0921	0.203	42	1.654	10.9	3.31	7.324
8	0.315	0.395	0.120	0.265	44	1.732	11.9	3.64	7.996
9	0.354	0.499	0.152	0.335	46	1.811	13.0	3.93	8.736
10	0.394	0.617	0.183	0.415	48	1.890	14.2	4.33	9.542
11	0.433	0.746	0.227	0.501	50	1.969	15.4	4.70	10.35
12	0.472	0.898	0.271	0.597	55	2.165	18.7	5.69	12.57
13	0.512	1.04	0.316	0.699	60	2.362	22.2	6.77	14.92
14	0.561	1.21	0.368	0.813	65	2.559	26.0	7.94	17.47
15	0.591	1.39	0.423	0.934	70	2.759	30.2	9.21	20.29
16	0.630	1.58	0.481	1.062	75	2.935	34.7	10.6	23.32
17	0.669	1.78	0.543	1.196	80	3.150	39.5	12.0	26.54
18	0.709	2.00	0.609	1.344	85	3.346	44.5	13.6	29.90
19	0.748	2.23	0.678	1.498	90	3.543	49.9	15.2	33.53
20	0.787	2.47	0.752	1.660	95	3.740	55.6	17.0	37.36
21	0.827	2.72	0.829	1.826	100	3.937	61.7	18.8	41.46
22	0.866	2.98	0.910	2.002	105	4.134	68.0	20.7	45.69
23	0.908	3.26	0.994	2.191	110	4.331	74.6	22.7	50.13
24	0.945	3.55	1.09	2.403	115	4.528	81.6	24.9	54.83
25	0.984	3.85	1.17	2.587	120	4.724	88.8	27.1	59.67
26	1.024	4.17	1.27	2.802	125	4.921	96.3	29.4	64.71
28	1.102	4.83	1.47	3.246	130	5.118	104	31.8	69.88
30	1.181	5.51	1.69	3.729	135	5.315	112	34.2	75.26
32	1.260	6.31	1.92	4.240	140	5.512	121	36.8	81.31
34	1.335	7.13	2.17	4.791	145	5.709	130	39.5	87.36
36	1.417	7.99	2.44	5.369	150	5.906	199	42.3	93.40
38	1.496	8.90	2.71	5.981	200	7.874	247	75.3	165.97

ตารางที่ ผข 13 คุณสมบัติของหน้าตัด

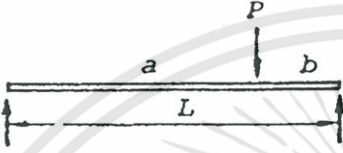
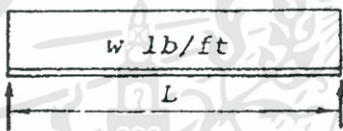
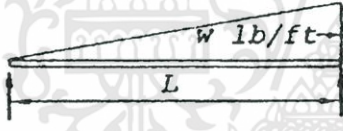
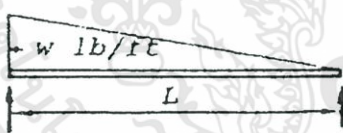
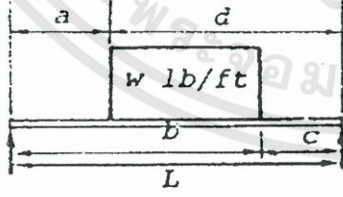
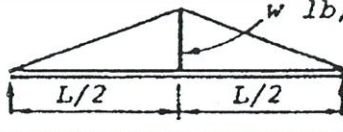
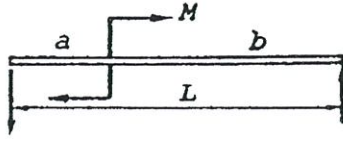
- $I_x$  คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน  $x-x$
- $J$  คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วรอบแกนศูนย์ถ่วง
- $Z = I/c$  คือโมดูลหน้าตัดของรูปเหลี่ยมรอบแกน  $x-x$
- $Z' = J/c$  คือโมดูลหน้าตัดเชิงขั้ว
- $k = \sqrt{I/A}$  คือรัศมีจอร์แดน

 $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $Z_x = \frac{bh^2}{6}$ $k_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $Z = \frac{2b^2h}{9} \text{ (สำหรับการบิด)}$	 $I_x = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z_x = \frac{\pi}{32} \left[ \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right]$ $k_x = \sqrt{\frac{D_o^2 + D_i^2}{16}}$ $J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z'_x = \frac{\pi}{16} \left[ \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right]$
 $I_x = \frac{\pi D^4}{64}$ $Z_x = \frac{\pi D^3}{32}$ $k_x = \frac{D}{4}$ $J = \frac{\pi D^4}{32}$ $Z = \frac{\pi D^3}{16}$	 $I_x = \frac{\pi bh^3}{64}$ $Z_x = \frac{\pi bh^2}{32}$ $k_x = \frac{h}{4}; k_y = \frac{b}{4}$ $J = \frac{\pi bh}{64} (h^2 + b^2)$ $Z' = \frac{\pi b^2 h}{16} \text{ (สำหรับการบิด)}$ $A = \pi bh/4$
 $I_x = \frac{1}{12} (GH^3 - gh^3)$ $Z_x = \frac{GH^3 - gh^3}{6H}$ $k_x = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \frac{GH^3 - gh^3}{GH - gh} \right]}$	 $c_1 = \frac{aH^2 + bt^2}{2(aH + bt)}, c_2 = H - c_1$ $I_x = \frac{Bt^3}{12} + (Bt)d^2 + \frac{ah^3}{12} + (ah)e^2$ $\text{พื้นที่} = Bt + a(H - t); k = \sqrt{I/A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

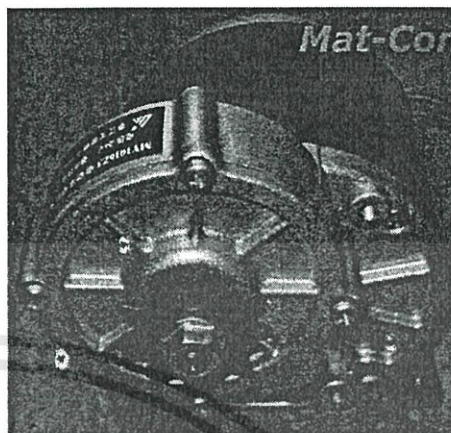
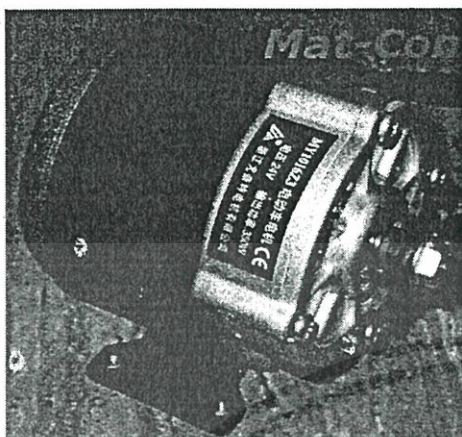
ตารางที่ ผข 14 ค่าในทอมที่ใช้ในสมการโมเมนต์

(Value of  $\frac{6A_L \bar{X}_L}{L_{LM}}$  and  $\frac{6A_R \bar{X}_R}{L_{MR}}$ )

Case No.	Type of Loading on Span	$\frac{6A_L \bar{X}_L}{L_{LM}}$	$\frac{6A_R \bar{X}_R}{L_{MR}}$
1		$\frac{Pa}{L} (L^2 - a^2)$	$\frac{Pb}{L} (L^2 - b^2)$
2		$\frac{wL^3}{4}$	$\frac{wL^3}{4}$
3		$\frac{8}{60} wL^3$	$\frac{7}{60} wL^3$
4		$\frac{7}{60} wL^3$	$\frac{8}{60} wL^3$
5		$\frac{w}{4L} [b^2(2L^2 - b^2) - a^2(2L^2 - a^2)]$	$\frac{w}{4L} [d^2(2L^2 - d^2) - c^2(2L^2 - c^2)]$
6		$\frac{5}{32} wL^3$	$\frac{5}{32} wL^3$
7		$-\frac{M}{L} (3a^2 - L^2)$	$\frac{M}{L} (3b^2 - L^2)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ฝข 15  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

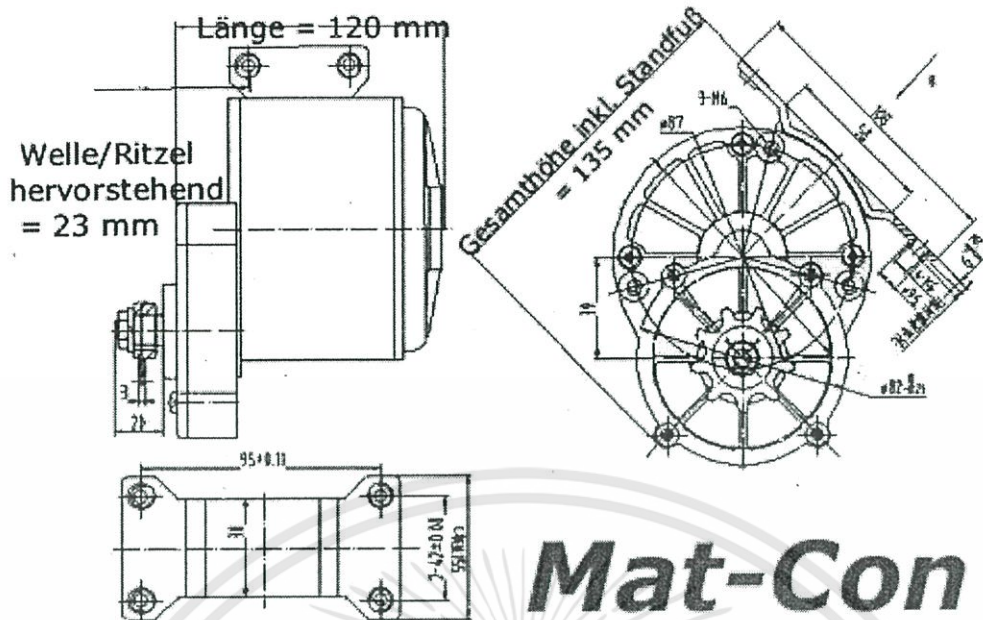
ตารางที่ ผข 15 รายละเอียดของมอเตอร์  
 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง DC 350W 24V กับเกียร์ 9.8:1



ประสิทธิภาพการทำงาน :	
กำลังขับ	350 W / 24 V
ความเร็วสูงสุด	330 +/- 5%
แรงบิด	9.47 นิวตันเมตร +/- 5%
ระบบส่งกำลัง	โซ่เฟือง (9 ฟันระยะห่าง 12.7 มิลลิเมตร, หนา 3 มิลลิเมตร.) ย้อนกลับได้
เส้นผ่าศูนย์กลางก้าน	11 มิลลิเมตร
ประสิทธิภาพ	> = 76%
น้ำหนัก	2.8 กก.

ขนาด :	
ความยาว	12 เซนติเมตร
ความกว้าง	13 เซนติเมตร
ความสูง (รวมขาตั้ง)	13.5 ซม.

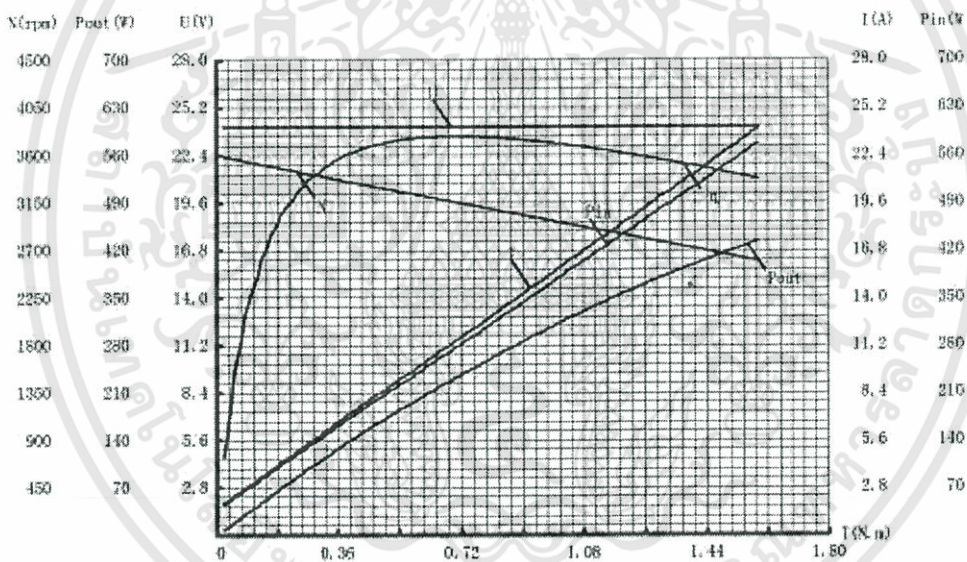
Metallfußmaße :	
ความยาว	111 มิลลิเมตร
ความกว้าง	55 มิลลิเมตร
Hole ข้างทางไกล (แต่ละศูนย์)	93 มิลลิเมตร
หันด้านข้างระยะห่าง Hole (แต่ละศูนย์)	42 มิลลิเมตร



# Mat-Con

单位: 浙江尤奈特电机有限公司

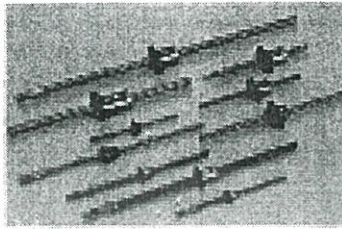
日期: 2005年



Ref. Point	Torque/N.m	Speed/rpm	P-out/W	Volt/V	Current/A	P-in /W	Efficient/%
No Load	0.02	3514	7.51	24.10	1.89	45.55	16.48
Max. Efficient	0.81	3087	262.78	24.10	13.03	313.94	83.70
Rated Load	1.18	2858	352.49	24.10	18.15	437.39	859
Max Torque	1.59	2599	432.88	24.10	23.94	576.95	75.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 พท 17  
 ไม่ว่าจะผิดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BALL SCREW RANGE



① Without end machining

GE 1504DS-BALR-0600A

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪

① With end machining

GE 1504DS-BALR-1100 X 0600-C7M

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪

① Series

- Ground ball screw
- GF : JIS C7 grade
- GG : JIS C5 grade
- GP : JIS C3 grade
- GR : JIS C3 grade High lead
- GR : Order for nut with lead same dimensions as our catalog
- GR : Order for nut with different range dimensions from our catalog
- GR : Customized ball screw
- Rolled ball screw
- GY : JIS C10 grade
- GW : JIS C7 grade
- GT : Customized for Rolled Ball Screw

② Shaft diameter (mm)

③ Lead (mm)

④ Number of circuits

- A : 1.5 turns 1 circuit
- B : 1.5 turns 3 circuits
- C : 1.5 turns 5 circuits
- D : 2.5 turns 1 circuit
- E : 2.5 turns 2 circuits
- F : 2.5 turns 3 circuits
- G : 2.5 turns 5 circuits
- J : 1 turn 3 circuits
- Z : Customized (including shaft only)

⑤ Nut type

- S : Single nut
- T : Integral nut
- D : Double nut (Pin type)
- Z : Customized (including shaft only)

⑥ Thread direction

- R : Right hand thread
- L : Left hand thread

⑦ Overall length of screw (shaft) (mm)

⑧ Flange type

- A-E, H
- H : Without flange
- Z : Customized (including shaft only)

⑨ Shaft end configuration

- A : Without end machining
- X : End machining as per your drawing
- Y : End machining as per your drawing for rolled entire shaft

⑩ Ball return system

- A : Tube method (Flange type)
- D : Cartridge method
- G : Guide plate method
- Z : Customized (including shaft only)

⑪ Thread length (mm)

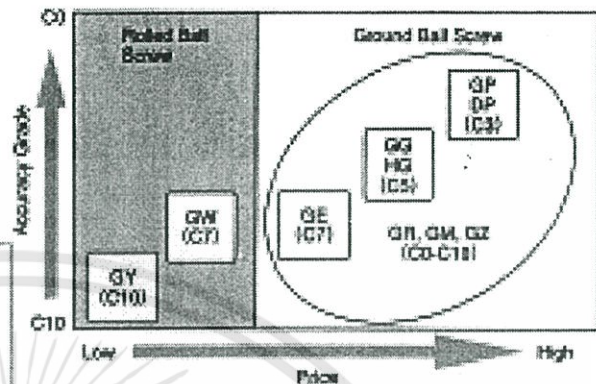
- GO, G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10

⑫ Wiper material

- F : Plastic
- L : Lip seal
- F : Felt
- B : Brush
- S : LUMSEAL
- H : No wiper
- Z : Customized (including shaft only)

⑬ Axial play

- S : 0 (Preloaded)
- F : 0.05mm max
- M : 0.03mm max
- L : 0.20mm max
- Y : Axial play for rolled ball screw



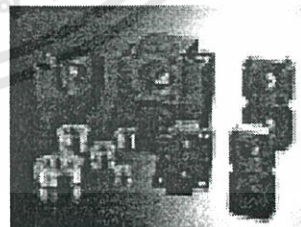
- Shaft Dia. & Lead -

Shaft Dia (mm)	Lead (mm)																				
	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	32	40	50	60	64	
8																					
10																					
12																					
14																					
16																					
20																					
25																					
32																					

- G Series ○ : GE ● : GG ○ : GP
- D Series ○ : DP
- H Series □ : HG

- Support Units -

- BUK series : Small sized Factory Automation  
φ8-φ32
- BUM series : Machine Tool  
φ35-φ50



- MATERIAL & HARDENING -

	Material	Heat treatment	HRC
NUT	SCM420 (SCM22)	Carburizing	58-62
	SCM415 (SCM31)	Carburizing	58-62
SHAFT	SCM420 (SCM22)	Induction hardening	58-62
	JIS4150HV	Induction hardening	58-62

- CAD (2D & 3D) Data -

Available from KURODA URL  
<http://www.kuroda-precision.co.jp/e-top>

※Contact KURODA for the special conditions such as material, surface treatment, grease and so on.



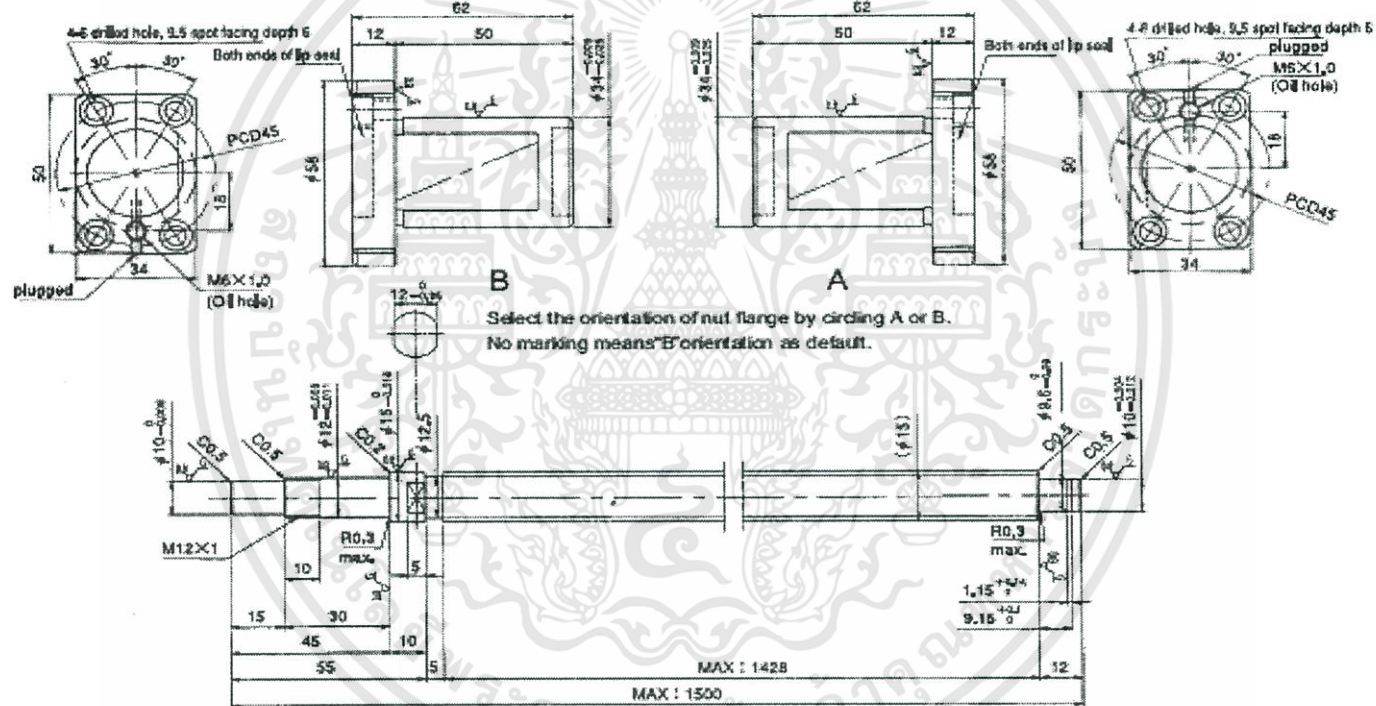
**KURODA** Standard Ground Ball Screw:GE Series(Accuracy grade C7)MG Series(Accuracy grade C5)

**SHAFT END FINISH ORDERING SHEET**

Screw shaft diameter  $\varnothing 15$ , Lead 20

(Unit:mm)

GE1520AS-BALR-    X    -C7M  
 GG1520AS-BALR-    X    -C5



Applicable Support Unit  
 Direct mount:BUK-12A(Fixed end unit+Supported end unit) Refer to Page.427  
 Circle flange:BUM-12(Fixed end unit+Supported end bearing) Refer to Page.434

Company Name		
Telephone	Name of Person in Charge	
Company Address		

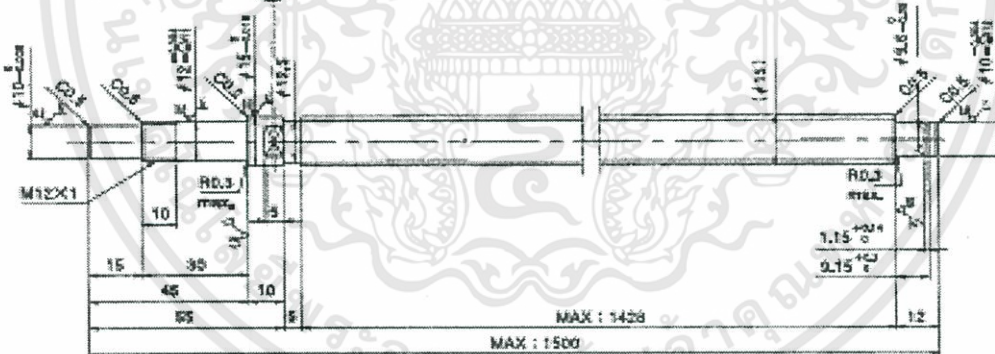
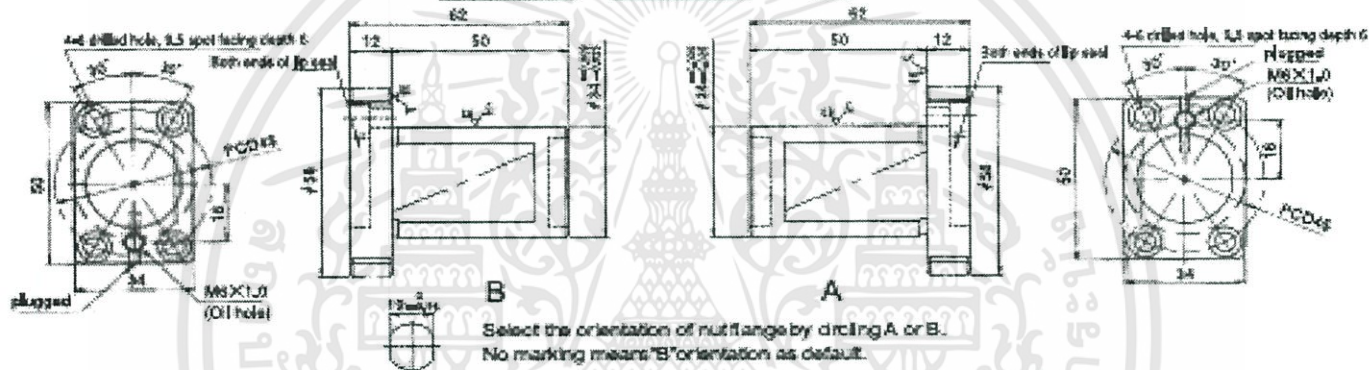
**KURODA** Standard Ground Ball Screw:GE Series(Accuracy grade C7)/GG Series(Accuracy grade C5)

**SHAFT END FINISH ORDERING SHEET**

Screw shaft diameter  $\varnothing 15$ , Lead 20

(Unit:mm)

GE1520AS-BALR-     X     -C7M  
 GG1520AS-BALR-     X     -C5



Applicable Support Unit

Direct mount:BUK-12A(Fixed end unit+Supported end unit) Refer to Page.427

Circle flange:BUM-12(Fixed end unit+Supported end bearing) Refer to Page.434

Company Name		
Tel. no./phone	Name of Person in Charge	
Or company address		

Refer to page 24 for NOTATION OF MODEL NUMBER.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณสำหรับเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### Ball Screw

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (do) = 15 มิลลิเมตร

ระยะพิทช์ (Pitch) = 20.5 มิลลิเมตร

ระยะหีด (Ph) = จำนวนปาก × ระยะพิทช์ = 20.5 มิลลิเมตร

จำนวนปาก (n) = 1 ปาก

การใช้งานของ Screw เป็นแบบ Vertical

กำหนดให้รับน้ำหนัก = 100 กิโลกรัม

### ประสิทธิภาพเชิงทฤษฎี (Theoretical Efficiency)

- Direct ( $\eta$ )

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{1}{1 + \frac{k d_o}{p_h}} ; k = 0.00974 \\ &= \frac{1}{1 + \frac{(0.00974)(15)}{20.5}} \\ &= \frac{1}{1 + (7.127 \times 10^{-3})} \\ &= 0.9929\end{aligned}$$

Indirect ( $\eta'$ )

$$\begin{aligned}\eta' &= 2 - \frac{1}{0.9929} \\ &= 2 - 1.00715 \\ &= 0.99285\end{aligned}$$

- Practical Efficiency ( $\eta_p$ )

$$\begin{aligned}\eta_p &= \eta \times 0.9 \\ &= 0.9929 \times 0.9 \\ &= 0.89361\end{aligned}$$

น้ำหนักรวม (โครงสร้างชั้นใน + น้ำสิ่งของที่นำมาทดสอบ + น้ำหนักของ Ball Screw)

น้ำหนักของน้ำหนักที่นำมาทดสอบ = 100 กิโลกรัม

น้ำหนักของชุด Ball Screw = น้ำหนักแกน + น้ำหนักโบลท์  
= 2.08 กิโลกรัม

น้ำหนักของโครงสร้างชั้นใน = โครงข่าย + โครงขวา + โครงบน + แผ่นปะ + ส่วนรองรับสิ่งของ  
= 5.2 + 0.884 + 0.5264 + 3.336  
= 9.9438 กิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักรวมที่ Ball Screw ต้องรับ} &= 100 + 2.08 + 9.9438 \\ &= 112.0238 \text{ กิโลกรัม} \rightarrow 115 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

### แรงบิดในสภาวะคงที่ (Input torque in steady state)

$$\begin{aligned} T &= \frac{F \times P_h}{2,000\pi\eta_p} \quad ; F = \text{น้ำหนักรวมสูงสุด (นิวตัน)} \\ &= \frac{(115)(9.81)(20.5)}{(2,000\pi)(0.89361)} \\ &= 4.11901 \text{ นิวตัน-เมตร} \end{aligned}$$

### จำนวนรอบ (Revolution Per Minute)

$$\begin{aligned} \text{กำหนดระยะ} \frac{64}{6} \text{ เซนติเมตร/วินาที} &\rightarrow \frac{640}{60} \text{ เซนติเมตร/นาที} \\ \text{จะได้จำนวนรอบ } 20.5 \text{ มิลลิเมตร} &\rightarrow 1 \text{ รอบ} \\ 64000 \text{ มิลลิเมตร} &\rightarrow 312.1951 \text{ รอบ} \\ \text{จะได้ จำนวนรอบที่ใช้} &= 313 \text{ รอบต่อนาที} \end{aligned}$$

### กำลังของมอเตอร์ (Power required in steady state)

$$\begin{aligned} P &= \frac{F \times n \times P_h}{60,000 \times \eta_p} \\ &= \frac{(115)(9.81)(313)(20.5)}{(60,000)(0.89361)} \\ &= 135.01 \text{ วัตต์} \rightarrow 0.181 \text{ แรมป์} \end{aligned}$$

### Preload Torque

$$\begin{aligned} T_{pr} &= \frac{F_{pr} \times P_h}{1,000\pi} \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \quad ; \text{น้ำหนักโบลท์} = 0.22 \text{ กิโลกรัม} \\ &= \frac{(0.22)(9.81)(20.5)}{(1,000\pi)} \left( \frac{1}{0.9929} - 1 \right) \\ &= 1.007 \times 10^{-4} \text{ นิวตัน-เมตร} \end{aligned}$$

### Restraining Torque

$$\begin{aligned} T_B &= \frac{F \times P_h \times \eta'}{2,000\pi} \\ &= \frac{(115)(9.81)(20.5)(0.99285)}{2,000\pi} \\ &= 3.6545 \text{ นิวตัน-เมตร} \end{aligned}$$

Friction Torque

$$T_f = \frac{\mu_f(F+mLg)P_h}{2,000\pi r_p}$$

$$= \frac{(0.05)(115)(9.81)(20.5)}{2,000\pi(0.89361)}$$

$$= 0.206 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

แรงบิดรวม

$$T_{total} = T + T_{pr} + T_f$$

$$= 4.11901 + 1.007 \times 10^{-4} + 0.206$$

$$= 4.3251 \text{ นิวตัน-เมตร} \rightarrow 4.5 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

จากค่าแรงบิดรวมและจำนวนรอบ

$$T_{total} = 4.5 \text{ นิวตัน-เมตร, จำนวนรอบ} = 313 \text{ รอบต่อนาที}$$

∴ ควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 นิวตัน-เมตร, 400 รอบต่อนาที, 20 แอมแปร์ 24 โวลต์ DC

การคำนวณขนาดดอ้งสำหรับใส่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

วัสดุ Si 37 จะได้  $\sigma_y = 235$  เมกะปาสกาล ใช้  $N_y = 2$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N_y}$$

$$= \frac{235 \times 10^6}{2}$$

$$= 117.5 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

$$\tau_d = 0.6\sigma_d$$

$$= 0.6(117.5 \times 10^6)$$

$$= 70.5 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

F = น้ำหนักของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง + น้ำหนักของสายไฟ อุปกรณ์ควบคุม และพัดลมระบายความร้อน

$$= 6 + 1.5 = 7.5 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{จาก } \tau_d = \frac{F}{A_s}$$

$$(7.5)(9.81)$$

$$= \frac{(0.4322)(t)(2) + (0.1524)(t)(2)}{73.575}$$

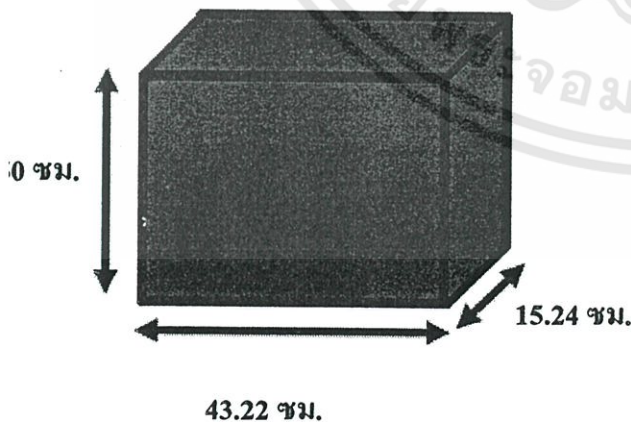
$$73.575$$

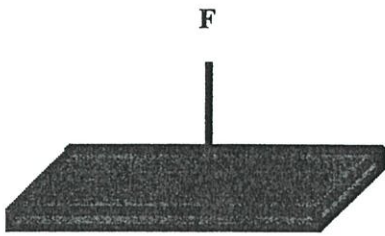
$$= \frac{(0.8644t) + (0.3048t)}{1.1692t} = \frac{62.9276}{t}$$

$$70.5 \times 10^6 = \frac{73.575}{1.1692t} = \frac{62.9276}{t}$$

$$\text{จะได้ } t = 8.926 \times 10^{-7} \text{ เมตร}$$

$$= 8.926 \times 10^{-4} \text{ มิลลิเมตร}$$





∴ ควรใช้เหล็กแผ่นที่มีความหนาน้อย  $8.926 \times 10^{-4}$  มิลลิเมตร แต่ในการออกแบบนี้จะใช้แผ่นโลหะหนา = 1 มิลลิเมตร

### การคำนวณขนาดที่รองรับของ (Toe Plate)

วัสดุ S<sub>t</sub> 37 จะได้  $\sigma_y = 235$  เมกะปาสกาล ใช้  $N_y = 2$

$$\begin{aligned} \tau_y &= 0.6\sigma_y \\ &= (0.6)(235 \times 10^6) \\ &= 141 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร} \end{aligned}$$

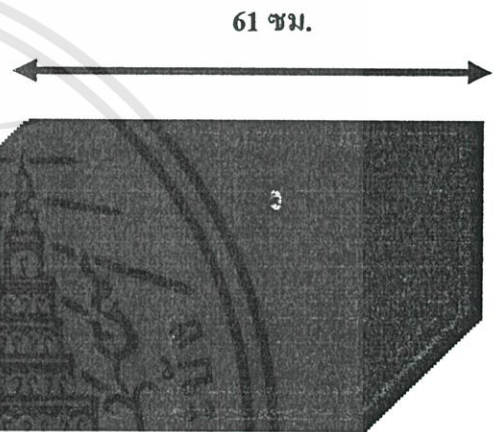
$$\begin{aligned} \tau_d &= \frac{141 \times 10^6}{2} \\ &= 70.5 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร} \end{aligned}$$

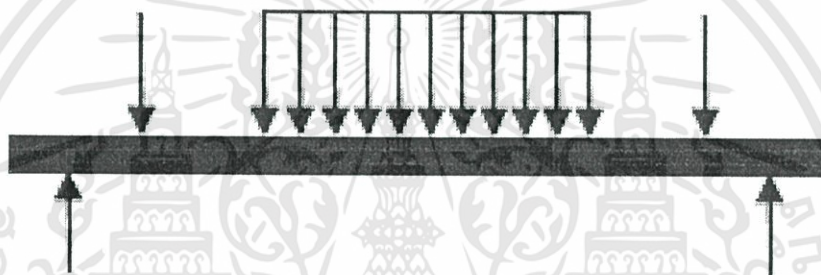
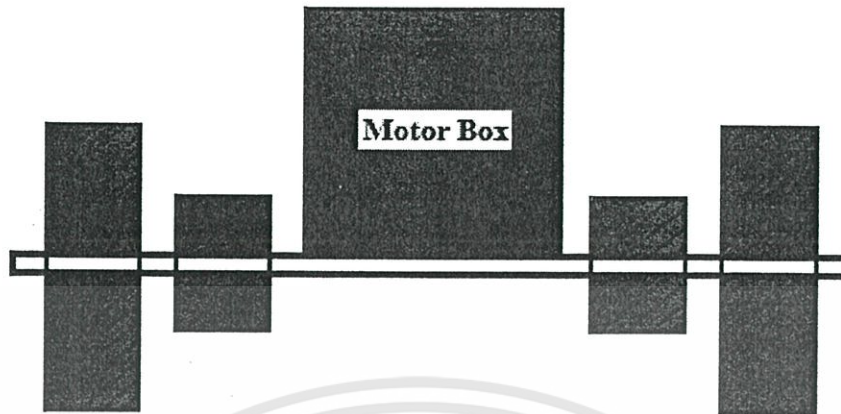
$$\begin{aligned} \tau &= \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} \\ &= \frac{(100)(9.81)}{(0.61)t} \\ 70.5 \times 10^6 &= \frac{(100)(9.81)}{(0.61)(t)} \\ (70.5 \times 10^6)(0.61)(t) &= (100)(9.81) \\ t &= 2.297 \times 10^{-5} \text{ เมตร} \\ &= 2.297 \times 10^{-2} \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

∴ ควรใช้เหล็กแผ่นที่มีความหนาน้อย  $8.926 \times 10^{-4}$  มิลลิเมตร แต่ในการออกแบบนี้จะใช้แผ่นโลหะหนา = 3 มิลลิเมตร

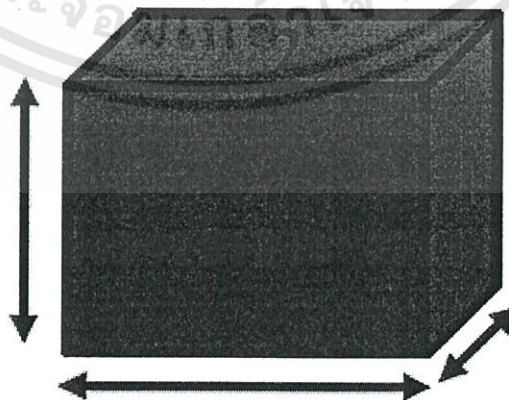
### การคำนวณขนาดแกนล้อ

น้ำหนักที่แกนล้อต้องรับ = น้ำหนักโครงสร้างชั้นใน + น้ำหนักของสิ่งของที่เคลื่อนย้าย + น้ำหนักของโครงสร้างชั้นนอก + น้ำหนักของส่วนรองรับวัตถุ + น้ำหนักของ Ball Screw + น้ำหนักของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง + น้ำหนักกล่องใส่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและอุปกรณ์ต่างๆในกล่อง





$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักของโครงสร้างชั้นนอก} &= \frac{16.5 \text{ กิโลกรัม}}{6 \text{ เมตร}} (0.61 \text{ เมตร} + 0.32 \text{ เมตร}) + \frac{13 \text{ กิโลกรัม}}{6 \text{ เมตร}} (0.5084 \text{ เมตร}) + \\
 &\quad \frac{16.5 \text{ กิโลกรัม}}{6 \text{ เมตร}} (0.1016 \text{ เมตร}) + 3.336 \\
 &= 15.1944 \text{ กิโลกรัม}
 \end{aligned}$$



ผศ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของกล่องมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

$$\begin{aligned}
 &= (0.001)(0.1524)(0.5)(2)(7.85) + (0.001)(0.4322)(0.5)(2)(7.85) + (0.001)(0.4322)(0.1524)(2)(7.85) \\
 &= 1.1963 \times 10^{-3} + 3.393 \times 10^{-3} + 1.0341 \times 10^{-3} \\
 &= 5.6234 \times 10^{-3} \text{ ตัน} \\
 &= 5.6234 \text{ กิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

กลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักของกลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง} &= \text{น้ำหนักกล่องใส่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและอุปกรณ์ต่างๆ} + \\
 &\quad \text{น้ำหนักของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง} + \text{น้ำหนัก Ball Screw} \\
 &= 5.6234 + 6 + 1.5 + 2.08 \\
 &= 15.2034 \text{ กิโลกรัม} \longrightarrow 149.1453 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } \frac{W}{L} = \frac{149.1453}{0.4322} = 345.083 \text{ นิวตันต่อเมตร}$$

$$\text{น้ำหนักที่กระทำที่จุด C, D รวมกัน} = 125.138 \text{ กิโลกรัม} \longrightarrow 1,227.6061 \text{ นิวตัน}$$

หาแรงปฏิกิริยา  $R_A, R_B$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\begin{aligned}
 (613.803)(0.0608) + (345.08)(0.432)(0.3404) + (613.803)(0.62) &= R_B(0.6808) \\
 37.442 + 149.074 + 380.56 &= 0.6808 R_B
 \end{aligned}$$

$$\therefore R_B = 688.340 \text{ นิวตัน}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_A + R_B = (613.803)(2) + (345.08)(0.4322)$$

$$R_A + 688.340 = 1,227.606 + 149.144$$

$$R_A = 688.410 \text{ นิวตัน}$$

(ที่หน้าตัด  $0 < x \leq 0.0608$ )

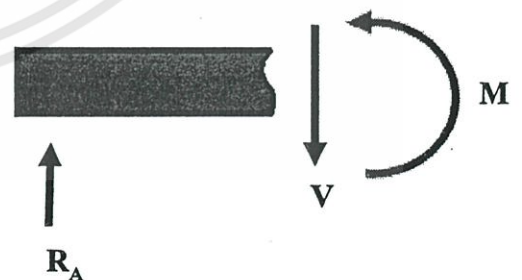
$$V = R_A = 688.410 \text{ นิวตัน}$$

$$M = Vx$$

$$= 688.410x \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$@ x = 0 \text{ เมตร; } \quad M = 0 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$@ x = 0.0608 \text{ เมตร; } \quad M = 41.855 \text{ นิวตัน-เมตร}$$



(ที่หน้าตัด  $0.0608 < x \leq 0.1243$ )

$$V = R_A - 613.803$$

$$= 688.410 - 613.803$$

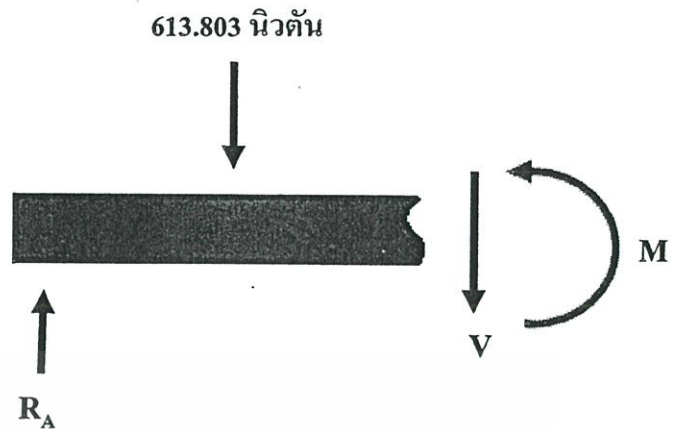
$$= 74.607 \text{ นิวตัน}$$

$$M = (613.803)(0.0608) + Vx$$

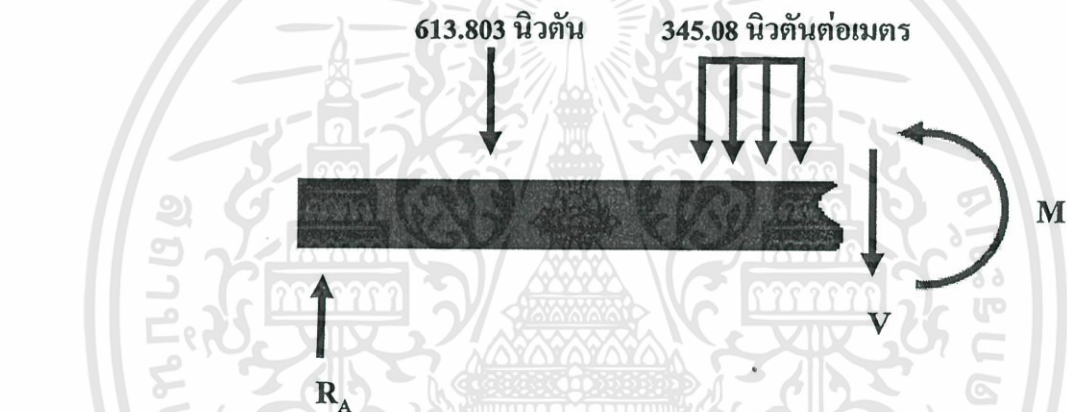
$$= 37.319 + 74.607x$$

@  $x = 0.0608$  เมตร;  $M = 41.855$  นิวตัน-เมตร

@  $x = 0.1243$  เมตร;  $M = 46.593$  นิวตัน-เมตร



(ที่หน้าตัด  $0.1243 < x \leq 0.5565$ )



$$V = 688.410 - 613.803 - 345.08(x - 0.1243)$$

$$= 74.607 - 345.08x + 42.893$$

$$= 117.50 - 345.08x$$

@  $x = 0.1243$  เมตร;  $V = 74.607$  นิวตัน

@  $x = 0.5565$  เมตร;  $V = -74.537$  นิวตัน

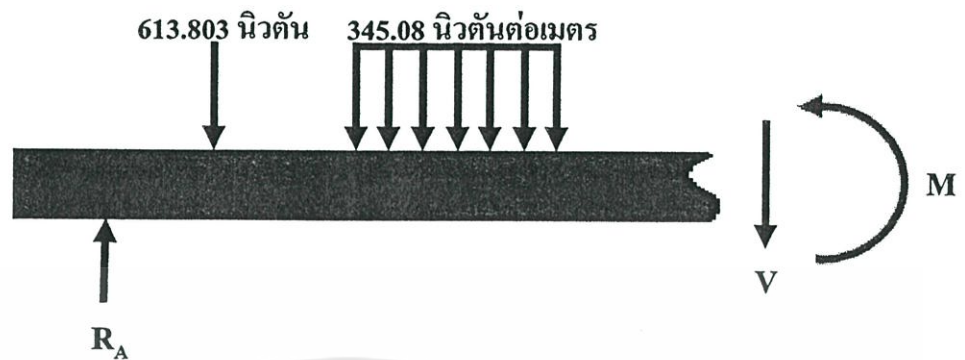
$$M = 688.41x - 613.803(x - 0.0608) - \frac{345.08}{2}(x - 0.1243)^2$$

$$= 37.319 + 74.607x - 172.54(x - 0.1243)^2$$

@  $x = 0.1243$  เมตร;  $M = 46.593$  นิวตัน-เมตร

@  $x = 0.5565$  เมตร;  $M = 46.608$  นิวตัน-เมตร

(ที่หน้าตัด  $0.5565 < x \leq 0.620$ )



$$V = 688.410 - 613.803 - 345.08(0.4322)$$

$$= -74.537 \text{ นิวตัน}$$

$$M = 613.803(0.0608) + (345.08)(0.4322)(0.3404) + (-74.537)x$$

$$= -74.537x + 88.088$$

@  $x = 0.5565$  เมตร;  $M = 46.608$  นิวตัน-เมตร

@  $x = 0.620$  เมตร;  $M = 41.8752$  นิวตัน-เมตร

(ที่หน้าตัด  $0.620 < x \leq 0.6808$ )



$$V = 688.410 - 613.803 - 345.08(0.4322) - 613.803$$

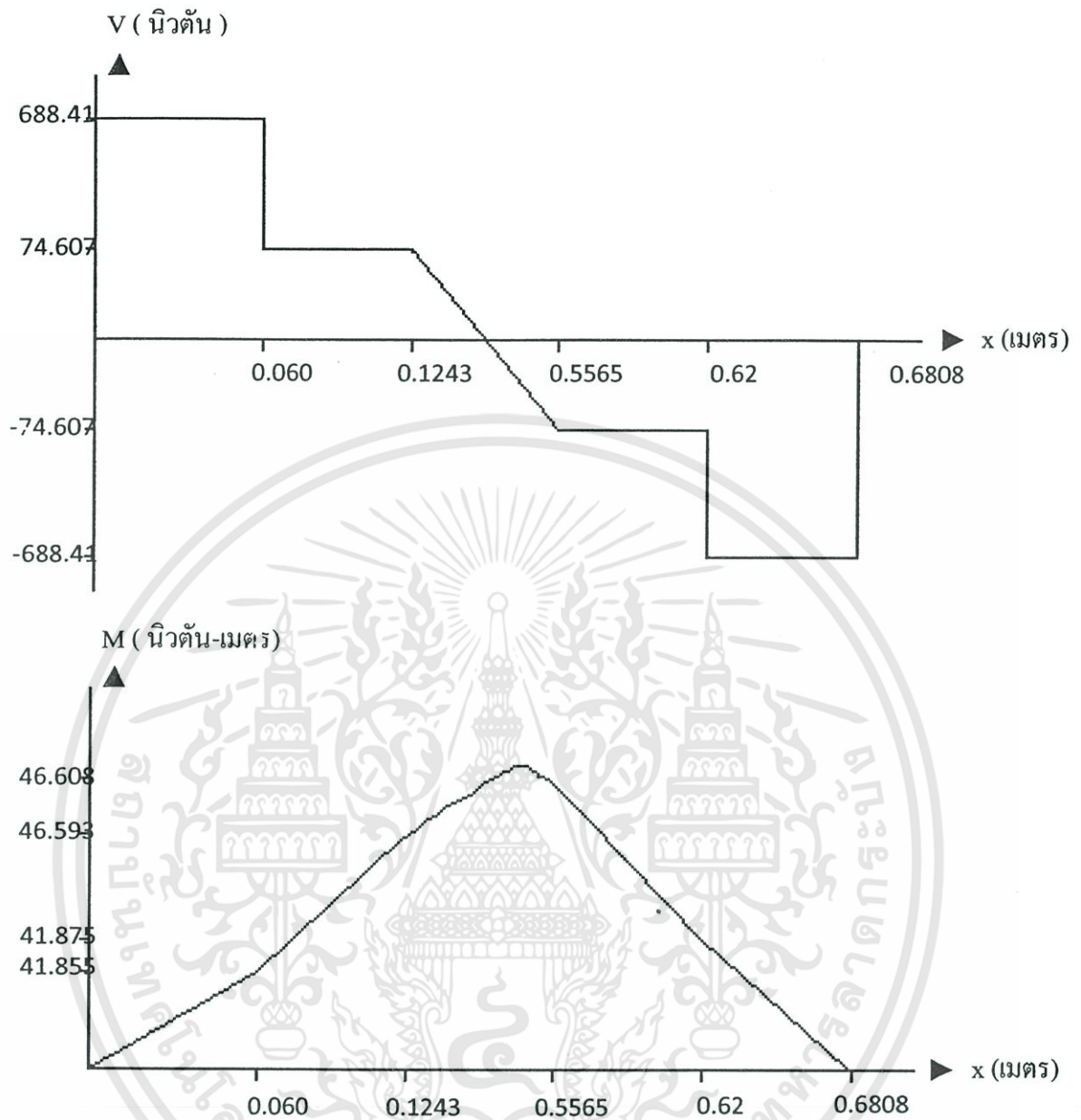
$$= -688.34 \text{ นิวตัน}$$

$$M = 613.803(0.0608) + (345.08)(0.4322)(0.3404) + 613.803(0.62) - 688.34x$$

$$= -688.34x + 468.646$$

@  $x = 0.620$  เมตร;  $M = 41.8752$  นิวตัน-เมตร

@  $x = 0.6808$  เมตร;  $M = 0.0241$  นิวตัน-เมตร  $\longrightarrow$  0 นิวตัน-เมตร



วัสดุ St 37 จะได้  $\sigma_y = 235$  เมกะปาสคาล ใช้  $N_y = 2$

$$\begin{aligned} \sigma_{max} = \sigma_d &= \frac{\sigma_y}{N_y} \\ &= \frac{235 \times 10^6}{2} \\ &= 117.5 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= 0.6\sigma_d \\ &= 0.6(117.5 \times 10^6) \\ &= 70.5 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร} \end{aligned}$$

$$\tau_{\max} = \frac{4V}{3A}$$

$$70.5 \times 10^6 = \frac{4(688.41)}{3 \frac{\pi}{4} d^2}$$

$$d^2 = 1.658 \times 10^{-5}$$

$$d = 4.072 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

$$= 4.072 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} c}{I} ; c = \frac{d}{2}, I = \frac{\pi}{64} d^4$$

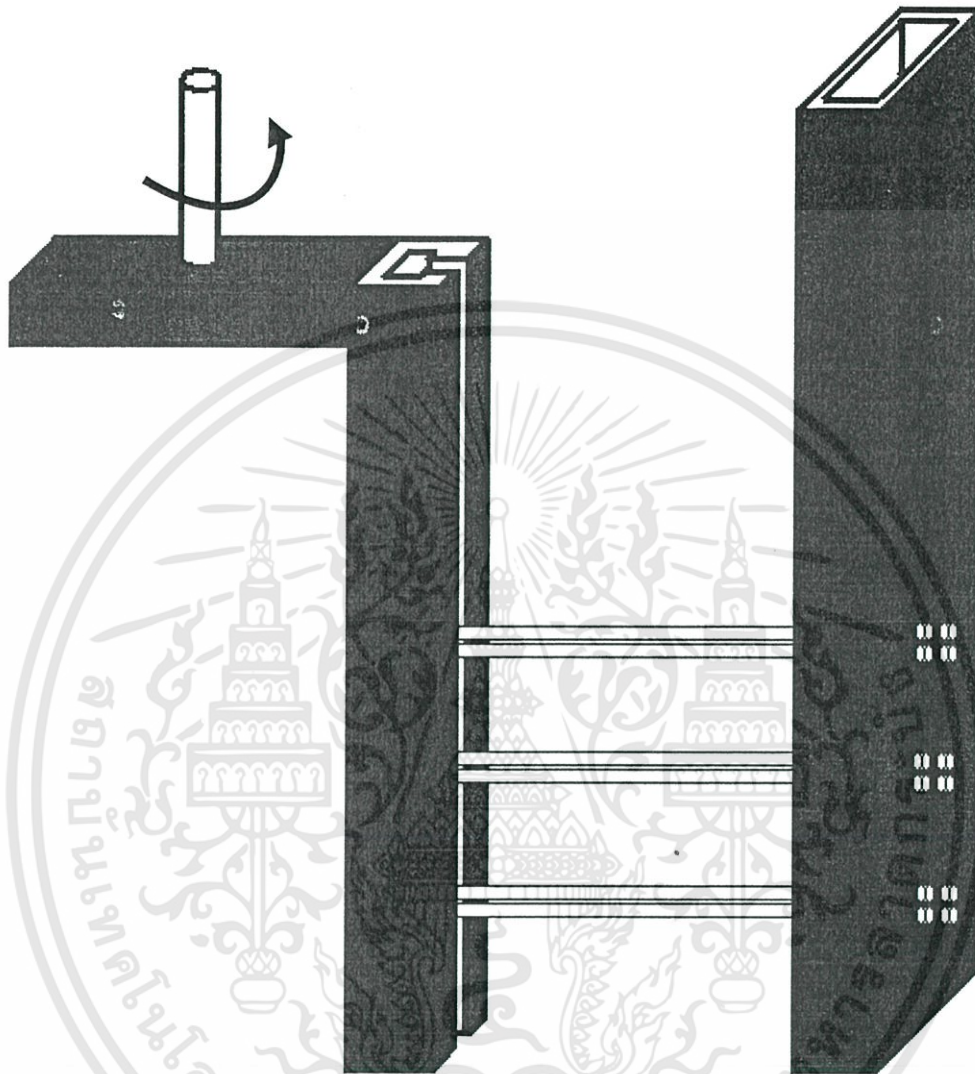
$$117.5 \times 10^6 = \frac{46.608 \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{64} d^4}$$

$$117.5 \times 10^6 = \frac{474.745}{d^3}$$

$$d^3 = 4.04 \times 10^{-6}$$

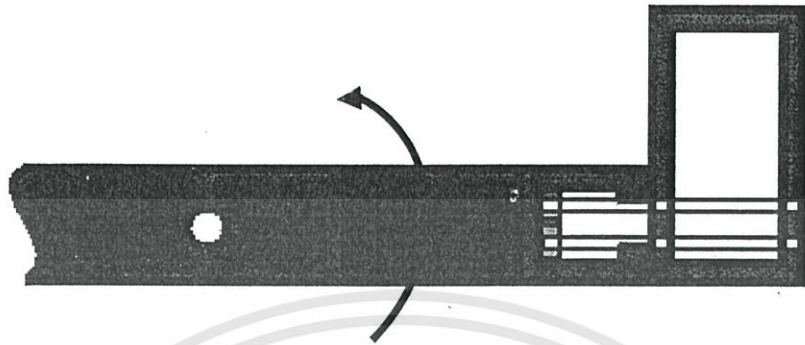
$$d = 0.0159 \text{ เมตร} \approx 16 \text{ มิลลิเมตร} \text{ แต่การออกแบบนี้จะใช้ } d = 20 \text{ มิลลิเมตร}$$

การคำนวณขนาดของสลักเกลียวที่ไว้ประกอบกับลูกกลิ้ง



แรงบิดจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง = 5 นิวตัน-เมตร ใช้สลักเกลียวเล็ก 6 อัน  
 จำนวนรอบ (n) = 400 รอบต่อนาที ใช้ชุดข้อต่ออีก 3 อัน  
 แรงเหวี่ยงจากน้ำหนัก  
 = น้ำหนักของสิ่งของที่ต้องการเคลื่อนย้าย + น้ำหนักโครงสร้างชั้นใน + น้ำหนักของ Ball Screw  
 = 100 + 9.9438 + 2.08  
 = 112.023 กิโลกรัม → 115 กิโลกรัม  
 ∴ F = 115(9.81) = 1,128.15 นิวตัน

กีดที่สลักเกลียว



$$F \cos 45^\circ = F \sin 45^\circ = 1,128.15 \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 797.723 \text{ นิวตัน}$$

$$F_n = \frac{F_s}{z \times f} \quad ; \quad f = \frac{0.15 + 0.20}{2} = 0.175$$

$$= \frac{797.723}{6(0.175)} \quad z = 6 \text{ ตัว (ฝั่งละ 3 เวลาเลื่อน เหนือทั้ง 2 ฝั่ง)}$$

$$= 759.736 \text{ นิวตัน}$$

$$F_i = F_n + \frac{F \cos 45^\circ}{6}$$

$$= 759.736 + \frac{797.723}{6}$$

$$= 759.736 + 132.953$$

$$= 892.689 \text{ นิวตัน}$$

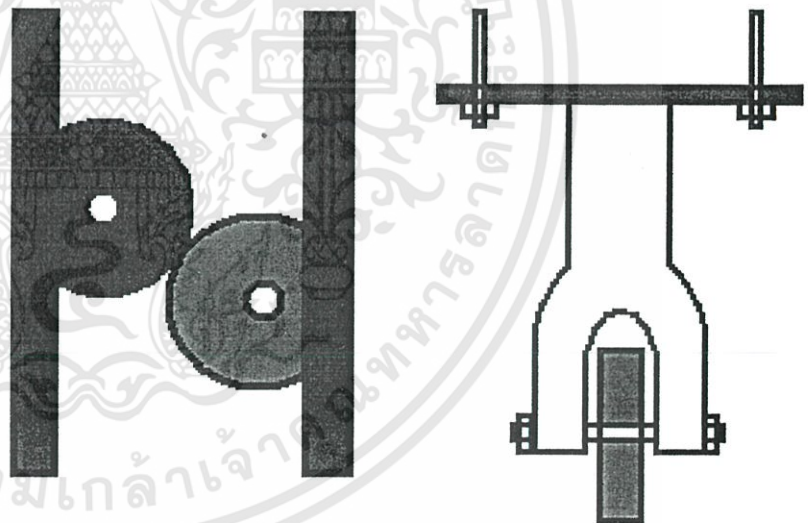
ใช้วัสดุชั้นคุณภาพบี 6.8

$$\sigma_y = 480 \text{ เมกะปาสกาล} ; N_y = 3$$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N_y} = 160 \text{ เมกะปาสกาล}$$

$$\sigma_c = \frac{F_i}{A} = \frac{892.689}{A} \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

$$\tau = \frac{F_s}{2A_s(6)} = \frac{797.723}{2A_s(6)} = \frac{66.477}{A_s} \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$



ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\frac{1}{N} = \left[ \left[ \frac{\tau}{\tau_y} \right]^2 + \left[ \frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} ; \tau_y = 0.5\sigma_y$$

$$\frac{1}{3} = \left[ \left[ \frac{66.477}{A_s(0.5)(480 \times 10^6)} \right]^2 + \left[ \frac{892.689}{A_s(480 \times 10^6)} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\left[ \frac{1}{3} \right]^2 = \left[ \frac{66.477}{A_s(0.5)(480 \times 10^6)} \right]^2 + \left[ \frac{892.689}{A_s(480 \times 10^6)} \right]^2$$

$$A_s = 4.6063 \times 10^{-6} = 4.6063 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

∴ ควรเลือกใช้สลักเกลียวขนาด M3 แต่การออกแบบนี้จะเลือกใช้ขนาด M5 โดยขนาดความยาวของเกลียวต้องใช้  $\approx 87.1$  มิลลิเมตร

การคำนวณขนาดของสลักเกลียวที่ใช้ยึดกล่องใส่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

น้ำหนักของกลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง = น้ำหนักกล่องใส่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและอุปกรณ์ต่างๆ + น้ำหนักของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง + น้ำหนัก Ball Screw

$$= 5.6234 + 6 + 1.5 + 2.08$$

$$= 15.2034 \text{ กิโลกรัม} \rightarrow 149.1453 \approx 150 \text{ นิวตัน}$$

ใช้วัสดุชั้นคุณสมบัติ 6.8

$$\sigma_y = 480 \text{ เมกะปาสคาล} ; N_y = 3$$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N_y} = 160 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$\tau_d = 0.6\sigma_d$$

$$= 0.6(160 \times 10^6)$$

$$= 96 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

$$\tau = \frac{\frac{F}{6}}{2A_s} = \frac{150}{6(2)A_s}$$

$$= \frac{12.5}{2A_s}$$

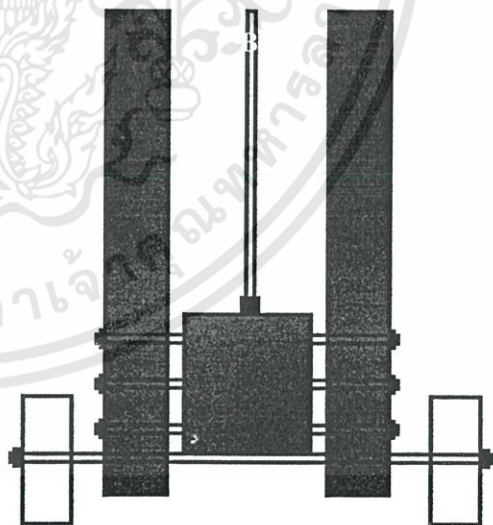
$$A_s(96 \times 10^6) = 12.5$$

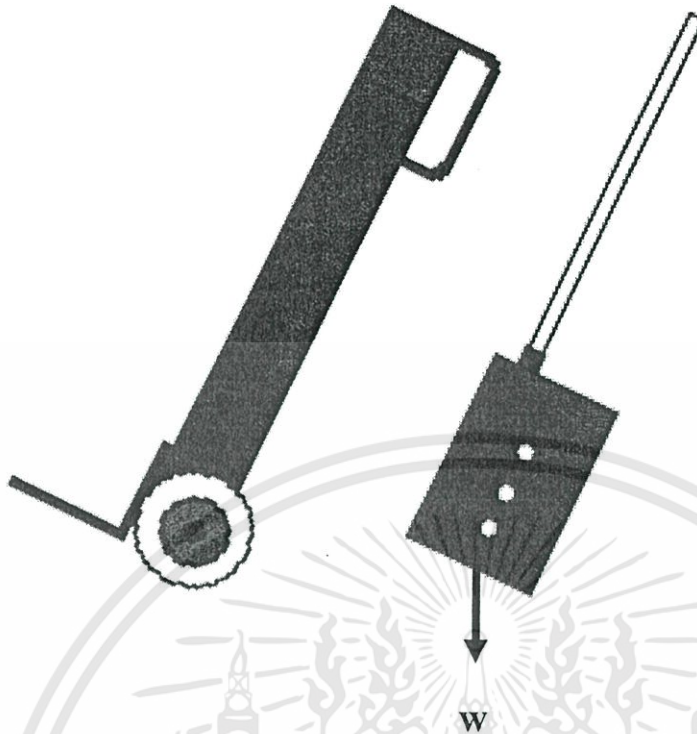
$$A_s = 1.302 \times 10^{-7} \text{ ตารางเมตร}$$

$$= 0.1302 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

∴ สามารถใช้สลักเกลียว M5 ได้

และต้องใช้สลักเกลียวยาว  $\approx 8.89$  เซนติเมตร





### การคำนวณขนาดของสกรูลูกกลิ้ง (Ball Screw)

วัสดุ AISI 4150

$\sigma_y = 379.2$  เมกะปาสคาล ;  $N_y = 3.3$  ;  $L = 82.41$  เซนติเมตร ;  $E = 207$  จิกะปาสคาล  
 $= 379.2 \times 10^6$  นิวตันต่อตารางเมตร

$$\sigma_d = \frac{379.2 \times 10^6}{3.3} \approx 115 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

ใช้สมมติฐานของจอห์นสัน เป็นเสาขีคแบบธรรมดาทั้ง 2 ข้าง

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{\alpha F}{A} + \frac{Mc}{I} = 0 \\ &= \frac{\alpha W}{A} \\ &= \frac{1}{1 - \frac{\sigma_y \left(\frac{L_e}{k}\right)^2}{4\pi^2 E}} \left(\frac{W}{A}\right) \\ &= \frac{1}{1 - \frac{379.2 \times 10^6 \left(\frac{0.8241}{\frac{d}{4}}\right)^2}{4\pi^2 (207 \times 10^9)}} \left(\frac{110(9.81)}{\frac{\pi}{4} d^2}\right) \\ &= \frac{1,373.953}{d^2 - 4.803 \times 10^{-5} (3.2964)^2} \end{aligned}$$

$$\tau = \frac{T_r}{J} = \frac{5\left(\frac{d_r}{2}\right)}{\pi \frac{d^4}{32}}$$

$$= \frac{25.465}{d^3}$$

$$\tau_y = 0.6\sigma_y$$

$$= (0.6)(379.2 \times 10^6)$$

$$= 227.52 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

$$\frac{1}{N} = \left[ \left[ \frac{\tau}{\tau_y} \right]^2 + \left[ \frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} ; \tau_y = 0.6\sigma_y \text{ กรณีของ Screw **}$$

$$\left[ \frac{1}{3.3} \right]^2 = \left[ \frac{25.465}{d^3 (227.52 \times 10^6)} \right]^2 + \left[ \frac{1.373.953}{(d^2 - 10.866)} \left( \frac{1}{379.2 \times 10^6} \right) \right]^2$$

$$\left[ \frac{1}{3.3} \right]^2 = \left[ \frac{1.12 \times 10^{-7}}{d^3} \right]^2 + \left[ \frac{3.623 \times 10^{-6}}{d^2 - 10.866} \right]^2$$

$$d_r = 7.176 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

$$= 7.176 \text{ มิลลิเมตร}$$

ทดสอบด้วยอัตราส่วนความเพียวย

$$\frac{L_e}{k} = \frac{0.8241}{7.176 \times 10^{-3}}$$

$$= 114.841 \leq 115 \therefore \text{ใช้สมมติฐานของจอห์นสันไม่ได้}$$

ใช้สมมติฐานของออยเลอร์

$$\sigma = \frac{\alpha W}{A}$$

$$= \left( \frac{\sigma_y \left( \frac{L_e}{k} \right)^2}{\pi^2 E} \right) \left( \frac{110(9.81)}{\frac{\pi}{4} d_r^2} \right)$$

$$= 1.856 \times 10^{-4} \left( \frac{0.8241}{d_r} \right)^2 \left( \frac{1.373.953}{d_r^2} \right)$$

$$= \frac{2.017 \times 10^{-3}}{d_r^2} \left( \frac{1.373.953}{d_r^2} \right)$$

$$= \frac{2.771}{d_r^4}$$

$$\frac{1}{N} = \left[ \left[ \frac{\tau}{\tau_y} \right]^2 + \left[ \frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\left[ \frac{1}{3.3} \right]^2 = \left[ \frac{1.12 \times 10^{-7}}{d_r^3} \right]^2 + \left[ \frac{2.771}{d_r^4 (379.2 \times 10^6)} \right]^2$$

$$\left[ \frac{1}{3.3} \right]^2 = \left[ \frac{1.12 \times 10^{-7}}{d_r^3} \right]^2 + \left[ \frac{7.307 \times 10^{-9}}{d_r^4} \right]^2$$

$$d_r = 0.0125 \text{ เมตร}$$

$$= 12.52 \text{ มิลลิเมตร แต่การออกแบบนี้จะเลือกใช้ขนาด 13.3 มิลลิเมตร}$$

ทดสอบด้วยอัตราส่วนความเพริช

$$\frac{L_e}{k} = \frac{0.8241}{\frac{0.01252}{4}}$$

$$= 263.29 > 115 \quad \therefore \text{ใช้สมมติฐานของออยเลอร์ได้}$$

การคำนวณความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างชั้นนอก

วัสดุ St 37 จะได้  $\sigma_y = 235$  เมกะปาสคาล ใช้  $N_y = 2$

$$M_{\max} = \frac{FL}{8} = \frac{WL^2}{8}$$

$$= \frac{mgL^2}{8}$$

$$= \frac{765.8(1.65)^2}{8}$$

$$= 260.611 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

เกิดขึ้นที่ระยะ  $x = \frac{L}{2}$

$$= \frac{1.65}{2} = 0.825 \text{ เมตร}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}c}{I}$$

$$= \frac{260.611 \left( \frac{0.1016}{2} \right)}{\left( \frac{0.0508(0.1016^3)}{12} \right) - \left( \frac{0.0468(0.0976^3)}{12} \right)}$$

$$= \frac{13.24}{(5.33 \times 10^{-5}) - (4.35 \times 10^{-5})}$$

$$= \frac{158.88}{0.98 \times 10^{-5}} = 16.212 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

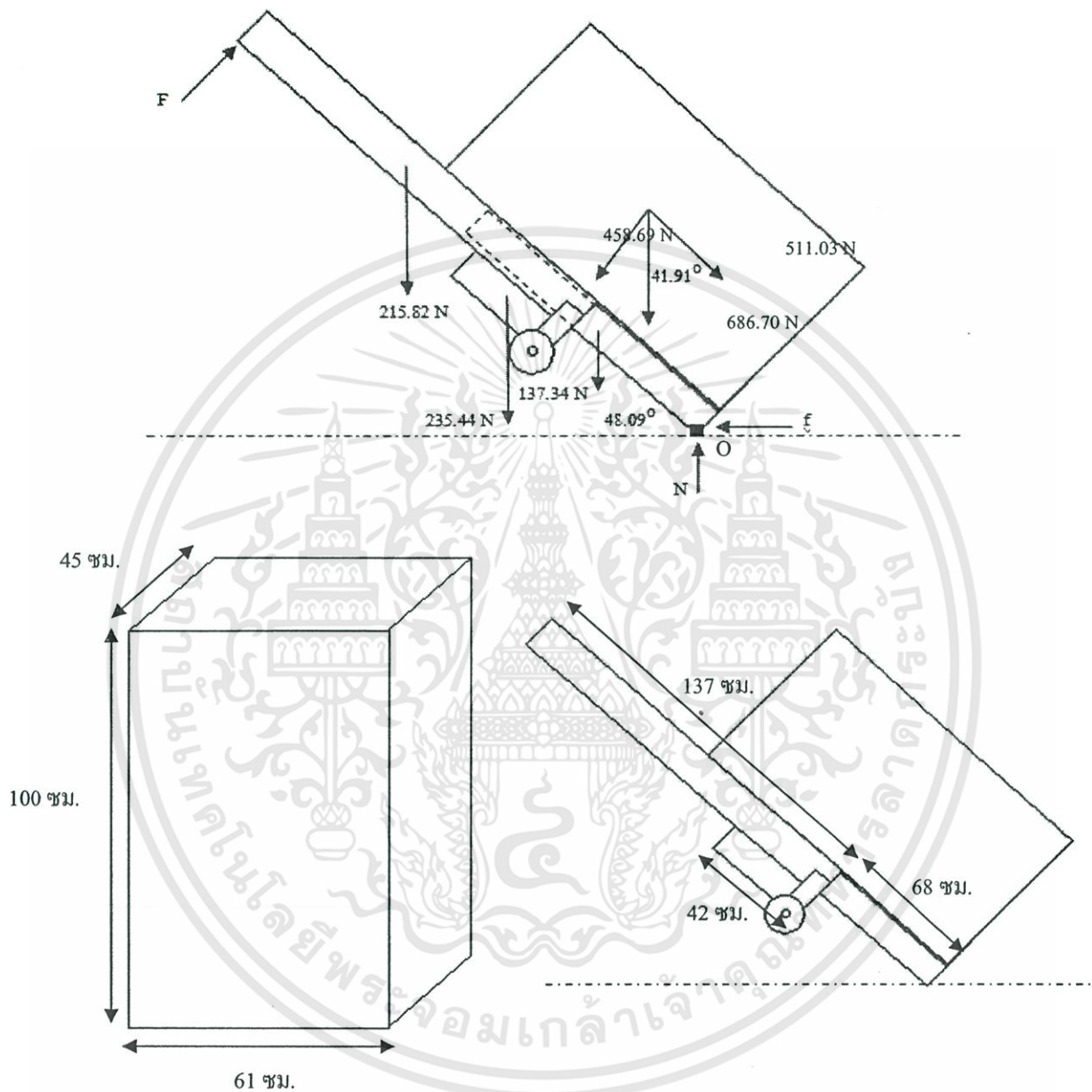
$$\therefore \sigma_{\max d} = \frac{16.212 \times 10^6}{2}$$

$$= 8.106 \times 10^6 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$$

จาก  $\sigma_y = 235 \times 10^6$  นิวตันต่อตารางเมตร และได้  $\sigma_d = 117.5 \times 10^6$  นิวตันต่อตารางเมตร จะได้ว่า

$\sigma_{\max d} < \sigma_d \quad \therefore$  สามารถใช้งานได้

การคำนวณหาขนาดแรงที่ใช้ในการใช้งานเครื่อง (มวลของวัตถุ 70 กิโลกรัม)



$$\sin 48.09 = 0.7442$$

$$\cos 48.09 = 0.6679$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N = 22 + 24 + 14 + 70$$

$$N = 130 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F \sin 48.09 = f$$

$$F(0.7442) = f$$

$$f = (246.884)(0.7442)$$

$$f = 183.731 \text{ N}$$

โมเมนต์รอบจุด o เท่ากับศูนย์

$$\Sigma M_o = 0$$

$$F(137+58) + 511.03(22.5) = 215.82(136.5)\cos 48.09 + 235.44(8^\circ)\cos 48.09 + 137.34(60)\cos 48.09 + 458.69(50)$$

$$F(205) + 11,498.175 = 19,675.953 + 13,995.283 + 5,503.763 + 22,934.5$$

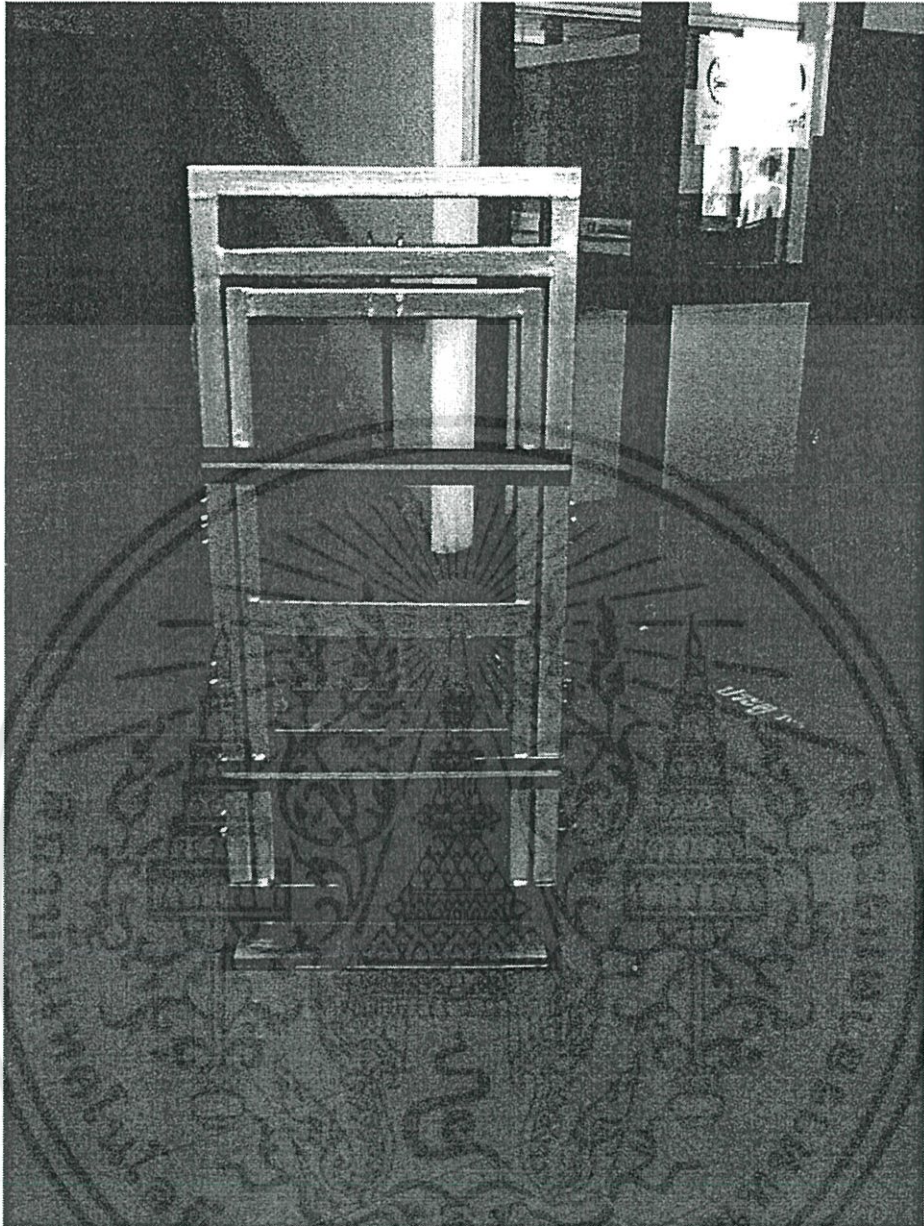
$$F(205) + 11,498.175 = 62,109.5$$

$$F = 246.884 \text{ นิวตัน หรือเท่ากับ } 25.17 \text{ กิโลกรัม}$$





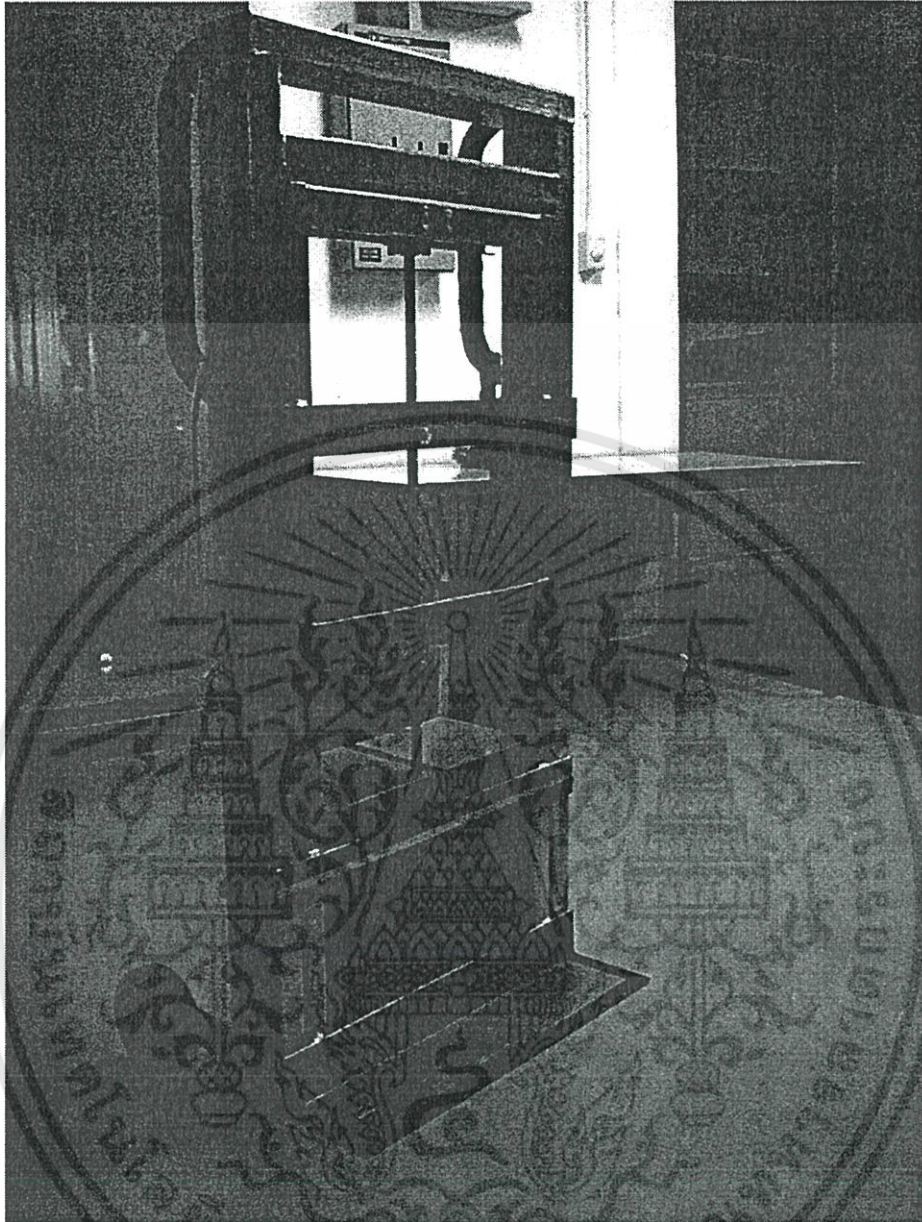
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผง 1 คำนหน้าของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

ผง 1

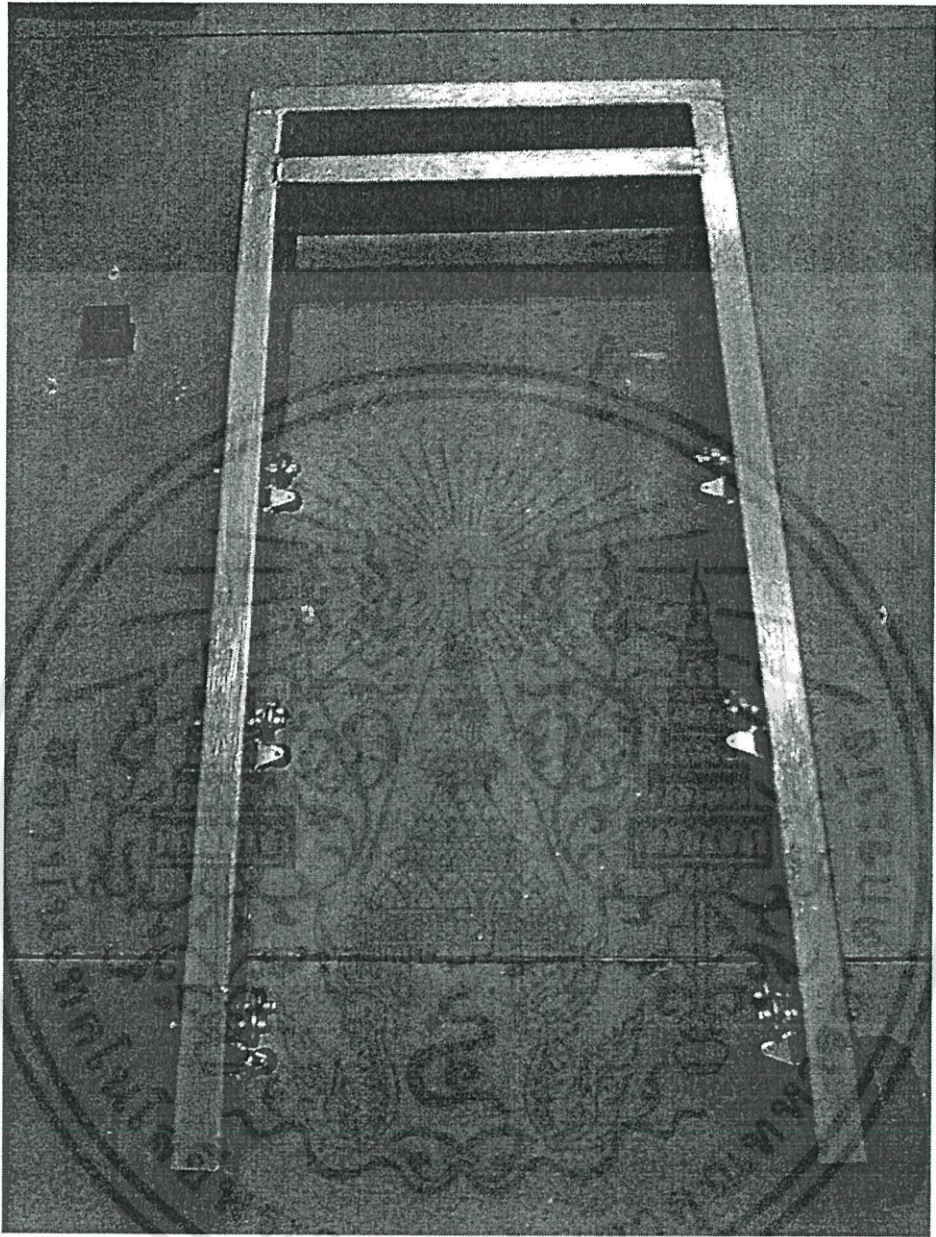
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผง 2 ด้านข้างของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

ผง 2

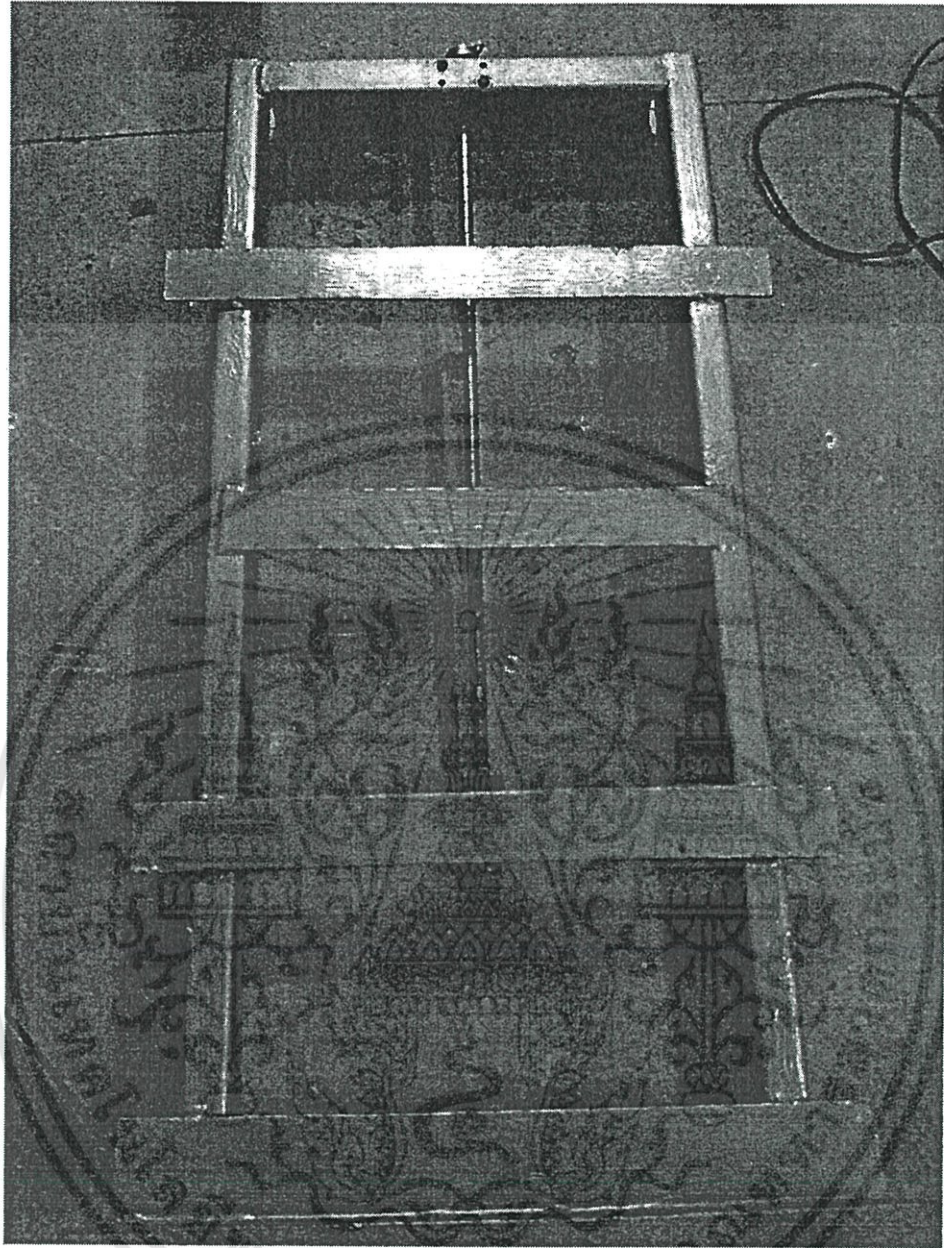
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผง 3 โครงสร้างชั้นนอกของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

ผง 3

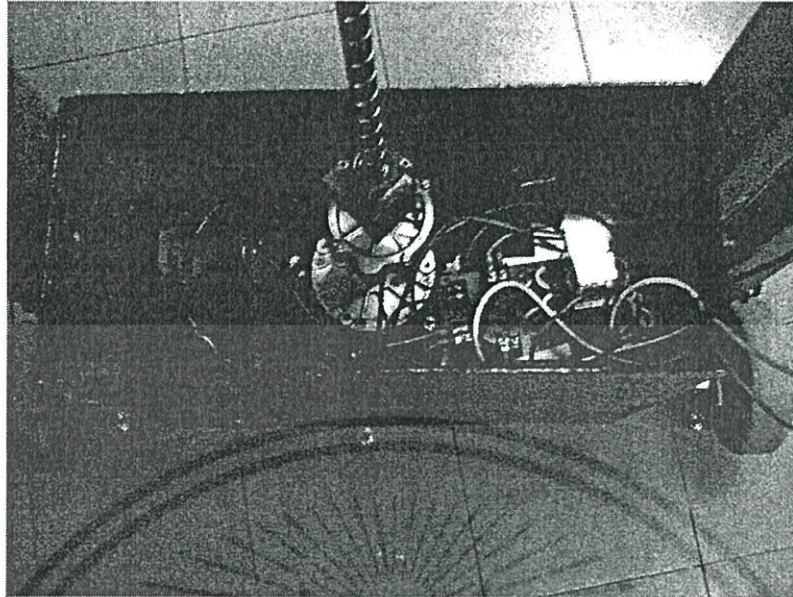
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



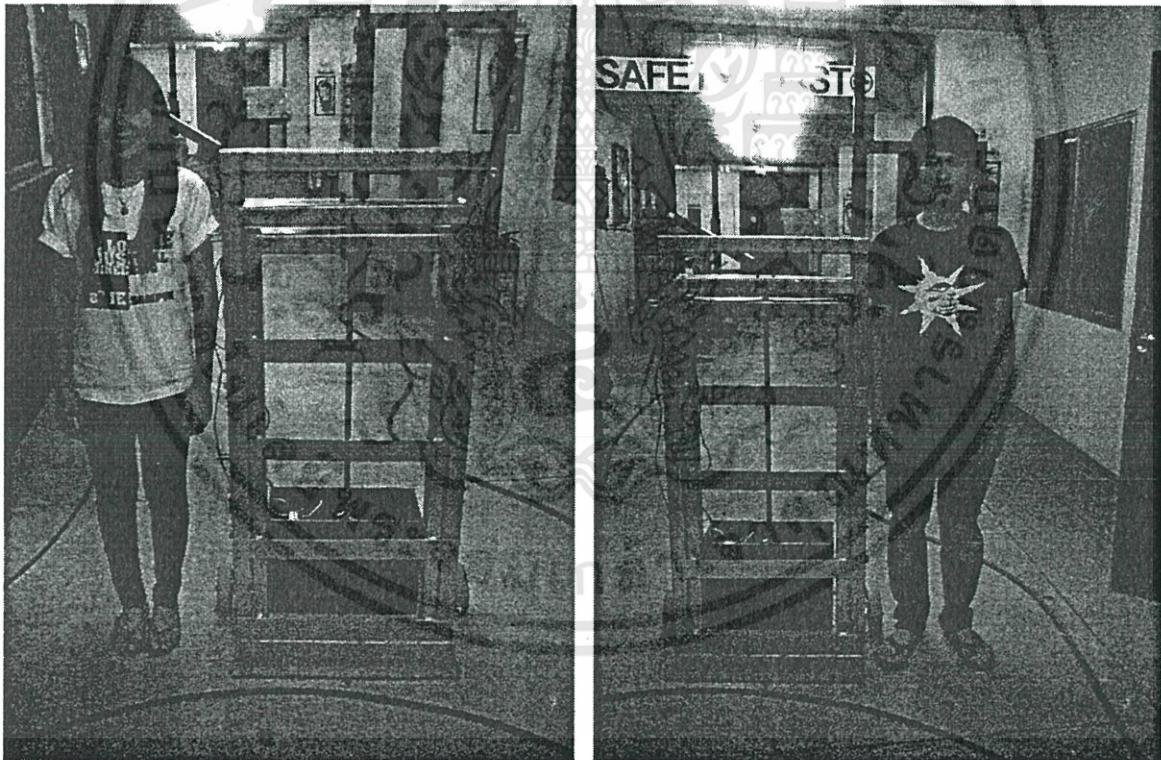
รูปที่ ผง 4 โครงสร้างชั้นในของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันได

#### ผง 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผง 5 ภายในกล่องใส่มอเตอร์และแบตเตอรี่



รูปที่ ผง 6 ความสูงของเครื่องช่วยยกของขึ้นบันไดเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผจ 1 งบประมาณในการดำเนินโครงการ

ลำดับที่	รายการวัสดุ	จำนวน	ราคา (บาท)
1	เหล็กกล่องขนาด 0.1016×0.0508 เมตร หนา 0.002 เมตร	6 เมตร	510
2	เหล็กรางพับขนาด 0.0762×0.0381×0.015 เมตร หนา 0.0018 เมตร	6 เมตร	360
3	เหล็กกลมกลางขนาด $\varnothing$ 0.0254 เมตร	6 เมตร	240
4	ชุดสกรูลูกกลิ้ง (Ball Screw)	1 ตัว	3,000
5	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	1 ตัว	1,800
6	ล้อโพลียูรีเทนขนาด $\varnothing$ 0.1651 เมตร	2 ล้อ	500
7	ล้อลูกกลิ้ง	18 ล้อ	540
8	แบริ่ง	2 ลูก	100
9	คัปปลิ่ง	1 ตัว	500
10	ชุดควบคุมการทำงาน	1 ชุด	1,000
11	ค่าการดำเนินงานสร้างเครื่อง	-	3,500
12	อื่นๆ	-	1,000
รวม			13,050