

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut

THE LAWNMOWER (TYPE HIGH CUT)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut
THE LAWNMOWER (TYPE HIGH CUT)

โดย



ว่าที่ ร.ค.ธนิต รัชการงาน
นาย วัชรินทร์ เหมโต
นาย ศุภณัฐ ยิ้มว้อย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut

The lawnmower (Type High Cut)

ผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------------|-----------|-----------------------|
| 1. ว่าที่ ร.ต. ธนิต | รักการงาน | รหัสประจำตัว 47015484 |
| 2. นายวัชรินทร์ | เหมโส | รหัสประจำตัว 47015502 |
| 3. นายศุภณัฐ | ชัยวัลย์ | รหัสประจำตัว 47015514 |

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศส. ทิรติ กิตตินนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ธีรพงศ์ ผลโทษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut

ว่าที่ ร.ต.ชนิต รักการงาน

นาย วัชรินทร์ เหมโต

นาย ศุภณัฐ อัมวัลย์

ผศ.พิชิต กิตตินนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อ.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

เครื่องตัดหญ้าแบบ High cut เป็นเครื่องตัดหญ้าที่สามารถเคลื่อนไหวได้ 3 ส่วน คือ ส่วนปลาย ส่วนกลาง และส่วนล่าง ซึ่งแต่ละส่วนสามารถทำมุมได้แตกต่างกัน ส่วนปลายจะทำงานได้ 180 องศา ส่วนกลาง 180 องศา และส่วนล่าง 90 องศา ในส่วนของหัวตัดจะติดตั้ง 2 หัว ซึ่งแต่ละหัวจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 6000 รอบ/นาที ตัวควบคุมการยกจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 24 โวลต์ ซึ่งแต่ละส่วนจะใช้ความเร็วรอบไม่เท่ากันส่วนล่างจะใช้มอเตอร์ 3000 รอบ/นาที ผ่านกระปุกเกียร์ทด อัตราทด 1:30 ส่วนกลางจะใช้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ 80 รอบ/นาที ผ่านชุดเฟืองตัวหนอนที่อัตราทด 1:30 ส่วนปลายใช้มอเตอร์ความเร็วรอบ 180 รอบ/นาที ผ่านกระปุกเกียร์ทด อัตราทด 1:30 ซึ่งแต่ละส่วนจะหมุนด้วยความเร็วดังนี้ ส่วนปลายหมุน 2.3 รอบ/นาที ส่วนกลาง 0.86 รอบ/นาที และส่วนโคน 16.66 รอบ/นาที ระบบควบคุมการทำงานของแต่ละชุดจะใช้สวิทช์ 3 ทาง ในการควบคุมเพื่อให้แขนแต่ละตัวเคลื่อนที่ตามต้องการ

THE LAWMOWER (TYPE HIGH CUT)

Thanit rakkangan

Watcharit Hemso

Supanat yimwon

Pichit kittinon Advisor

Terapong ponpo Advisor

Abstract

The Lawnmower (type high cut) is the lawnmower with three moveable parts, which consist of the end, the middle and the lower parts. Each part can make different angles: 180 degree for the end and the middle parts and 90 degree for the lower part. Two blades are installed at the first part of the lawnmower. Each blade is set to move at the speed of 6000 rpm. The controller is a 24-volt electric motor. Each part of the controller applies different speed: gear block is used with the lower part with the speed of 3000 rpm and rate of 1:30; worm gear is used with the middle part with the speed of 180 rpm and rate of 1:30. Each part of the lawnmower moves at the following speed: the end part at 2.3 rpm, the middle part at 0.86 rpm, and the lower part at 16.66 rpm. Three-way switch is used to control the movement of each part of the lawnmower.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จออกมาได้โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ ท่านอาจารย์ที่สำคัญที่ขาดมิได้คือ ผศ.พิชิต กิตตินนท์ และ ท่านอาจารย์ ธีรพงศ์ ผดโพธิ์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและการสร้าง หลักการทำงานของอุปกรณ์หลัก ใหญ่ๆ ของเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut และช่วยตรวจทานหลักการเขียนรูปเล่ม และอื่นๆ อีกมากมาย

ขอขอบคุณคุณแม่ ที่เป็นกำลังใจ และเป็นแรงผลักดัน ในการเรียน จนมาถึงวันนี้
ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร และอาจารย์ในภาคทุกท่าน

ขอขอบคุณ พี่ตึก พี่แปด เจ้าหน้าที่ธุรการ ที่ให้ความสะดวกในเรื่องธุรการต่างๆ มากมาย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ 3 km ทุกคน ที่มาช่วยทำงานคอนกรีตเสริมเหล็ก และ ค่อยให้คำติชมต่างๆ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่รีไซเคิล ที่ช่วยในการเบิกจ่ายเครื่องมือ โดยเฉพาะพี่แอ้ ที่ให้เราเบิกเครื่องมือได้ตลอดเวลา โดยที่ไม่บ่นเราซักคำ และให้คำแนะนำในกรณีเล็กน้อยในการใช้เครื่องมือให้ปลอดภัย ตลอดจนคำแนะนำในการสร้างเครื่อง

ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญาบัตรฉบับนี้ จะมีประโยชน์กับใครสักคน วันข้างหน้า

ว่าที่ ร.ต.ธนิต รักการงาน
นายวัชรินทร์ เหมโส
นายศุภณัฐ ยัมวัลย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.2 เครื่องตัดหญ้ามีหลายชนิดและจำแนกได้ดังนี้	2
2.3 การจับชุดใบมีด แบ่งการจับออกได้เป็น 2 ชนิด	2
2.4 มอเตอร์	2
2.5 ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด	5
2.6 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด	6
2.7 ทฤษฎีออกดะฮีครัล	7
2.8 เกณฑ์ของไซเคอร์เบอร์ก	9
2.9 การออกแบบเปลาตามโค้ด ASME	11
2.10 จุดศูนย์กลางและจุดศูนย์กลางมวล	15
2.11 จุดเซนทรอยด์	18
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างและคำนวณ	25
3.1 ลักษณะโครงสร้าง	25
3.2 แนวทางการเคลื่อนที่ของแขน	25
3.3 การควบคุมส่วนต่างๆของ โครงสร้าง	25
3.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเซนเนอร์เรเตอร์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การกำหนดขนาดโครงสร้าง	26
3.6 การคำนวณ	37
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	40
4.1 การทดสอบความเร็วยรอบ	40
4.1.1 แขนที่สามด้านท้ายสุด	40
4.1.2 แขนที่สองตรงกลาง	41
4.1.3 แขนที่หนึ่งด้านปลายสุด	42
4.1.4 มอเตอร์ชุดหัวตัด	43
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่และมุมมากสุดน้อยสุดของแขนแต่ละแขน	44
4.2.1 แขนที่สามด้านท้ายสุด	44
4.2.2 แขนที่สองตรงกลาง	46
4.2.3 แขนที่หนึ่งด้านปลายสุด	48
4.3 การทดสอบการตัดในแบบต่างๆ	50
4.3.1 การทดสอบการตัดในแนวระนาบ	50
4.3.2 หาประสิทธิภาพในการตัด	51
4.3.3 การทดสอบการตัดแบบมีมุมเอียง	51
4.3.4 หาประสิทธิภาพในการตัด	52
4.3.5 การทดสอบการตัดแต่งกิ่งไม้	52
4.3.6 การทดสอบการตัดแต่งพุ่มไม้	53
4.3.7 หาประสิทธิภาพในการตัด	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	55
เอกสารอ้างอิง	56

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแจกแจงมอเตอร์ออกต่างสมบัติ	4
ตารางที่ 2.2 ค่าตัวประกอบความล้า	14
ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองการตัดในแนวราบ	50
ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองการตัดแบบมีมุมเอียง	52
ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองการตัดแต่งท่อนไม้	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนต่างๆ	25
รูปที่ 3.2 ขนาดของแผ่นยึดมอเตอร์และแขนที่หนึ่ง	27
รูปที่ 3.3 ขนาดของแขนที่หนึ่ง	28
รูปที่ 3.4 ขนาดของแผ่นยึดแขนที่สอง	29
รูปที่ 3.5 ขนาดของแขนที่สอง	30
รูปที่ 3.6 ขนาดของแผ่นยึดมอเตอร์และแขนที่สาม	31
รูปที่ 3.7 ขนาดของแขนที่สาม	32
รูปที่ 3.8 ขนาดของแผ่นยึดแขนที่สามด้านติดกับฐาน	33
รูปที่ 3.9 ขนาดของฐานที่ติดกันตัวรถ	34
รูปที่ 3.10 ขนาดของตัดยึดมอเตอร์หัวตัด	35
รูปที่ 3.11 ขนาดและภาพเมื่อประกอบแล้ว	36
รูปที่ 4.1 แสดงการส่งกำลังของแขนที่สามกับฐาน	40
รูปที่ 4.2 แสดงการส่งกำลังของแขนที่สามกับฐาน	41
รูปที่ 4.3 แสดงการส่งกำลังของแขนที่สองกับแขนที่สาม	41
รูปที่ 4.4 แสดงการส่งกำลังของแขนที่สองกับแขนที่สาม	42
รูปที่ 4.5 แสดงการส่งกำลังของแขนที่หนึ่งกับแขนที่สอง	42
รูปที่ 4.6 แสดงการส่งกำลังของแขนที่หนึ่งกับแขนที่สอง	43
รูปที่ 4.7 แสดงมอเตอร์ชุดหัวตัด	43
รูปที่ 4.8 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สาม	44
รูปที่ 4.9 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สาม	44
รูปที่ 4.10 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สาม	45
รูปที่ 4.11 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สาม	45
รูปที่ 4.12 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง	46
รูปที่ 4.13 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง	46
รูปที่ 4.14 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง	47
รูปที่ 4.15 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง	47
รูปที่ 4.16 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง	48

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง	48
รูปที่ 4.18 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง	49
รูปที่ 4.19 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง	48
รูปที่ 4.20 แสดงการตัดในแนวระนาบ	50
รูปที่ 4.21 แสดงการตัดแบบมีมุมเอียง	51
รูปที่ 4.22 แสดงการตัดแต่งกิ่งไม้	53
รูปที่ 4.23 แสดงการตัดแต่งกิ่งไม้	53
รูปที่ 5.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	55



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

เนื่องจากประเทศไทยมีวัชพืชขึ้นอยู่ทั่วไปเป็นจำนวนมาก ในการกำจัดหรือนำมาใช้ประโยชน์ โดยการนำมาเลี้ยงสัตว์จำเป็นต้องใช้เวลาในการทำงานมาก แต่ถ้าใช้สารเคมีก็จะทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและวัชพืชก็เสียไปโดยไร้ประโยชน์ จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะประดิษฐ์เครื่องตัดหญ้าได้อย่างรวดเร็วและตัดได้เกือบทุกสถานที่

การตัดหญ้าในพื้นที่ลาดเอียง ถ้าจะใช้เครื่องตัดหญ้าแบบเหวี่ยงสะพายหลังหรือเครื่องตัดหญ้าแบบเข็น คงจะต้องใช้เวลานานและเกิดความลำบากกับผู้ปฏิบัติงาน เพราะเครื่องตัดหญ้าแบบเหวี่ยงสะพายหลังและเครื่องตัดหญ้าแบบเข็นออกแบบมาเพื่อใช้กับพื้นราบ ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้กับพื้นที่ลาดเอียง ฉะนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องตัดหญ้าที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับพื้นที่ลาดเอียง โดยเฉพาะคือเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut เพราะเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut ได้ออกแบบมาให้ใช้แฉกยื่นออกไป ทำให้สามารถปรับระดับมุมเอียงของใบตัดได้หลายองศา จึงตัดหญ้าในพื้นที่ลาดเอียงได้ดี ทำให้ใช้เวลาในการตัดน้อยลงและลดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน แต่เครื่องหญ้าแบบ High Cut ใช้ระบบไฮดรอลิกในการทำงาน จึงทำให้มีน้ำหนักมากและราคาแพง จึงทำให้เกิดความคิดที่จะสร้างเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut โดยใช้ระบบไฟฟ้าทำงานแทนระบบไฮดรอลิกจะทำให้มีน้ำหนักเบาและราคาถูกลง เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut
2. ลดน้ำหนักและต้นทุนของเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut
3. ทดสอบความสามารถและประสิทธิภาพของเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาและสร้างเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut
2. ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการพัฒนาต่อ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดน้ำหนักและต้นทุนของเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut ได้
2. เกษกรสามารถนำไปดัดแปลงใช้กับเครื่องต้นกำลังที่มีอยู่ได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[1]

เครื่องตัดหญ้าเป็นเครื่องมือที่จัดอยู่ในประเภทเครื่องมือเก็บเกี่ยวชนิดหนึ่ง เครื่องตัดหญ้าไม่ได้ใช้เฉพาะแต่ตัดหญ้าและทำสนามหญ้าตามชื่อเรียกเท่านั้น หากยังใช้สำหรับตัดลำต้นของธัญพืช ในขณะที่เก็บเกี่ยวอีกด้วย

2.2 เครื่องตัดหญ้ามียหลายชนิดและจำแนกได้ดังนี้[2]

1. เครื่องใบมีดชัก หรือ (Cutter Bar)
2. ชนิดใบมีดหมุน หรือเคลื่อนที่เป็นวงกลม (Rotary mower)

2.3 การจับชุดใบมีด แบ่งการจับออกได้เป็น 2 ชนิด คือ[2]

1. จับโดยตรงโดยใช้ข้อต่อเชื่อมและมู่เกลย์สายพาน
2. จับโดยใช้ไฮดรอลิกมอเตอร์ โดยใช้กำลังคั้นของน้ำมันจากระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์มาขับไฮดรอลิกมอเตอร์

2.4 มอเตอร์[3]

ขั้นตอนการเลือกชนิดของมอเตอร์

ในการเลือกมอเตอร์ใช้งาน จะต้องคำนึงถึงสมบัติต่างๆ ของเครื่องจักร ไทลด์ว่าเป็นชนิดประเภทใดมีรายละเอียดอย่างไร มีความต้องการทางเทคนิคอย่างไร เพื่อให้เลือกมอเตอร์ได้เหมาะสมสภาพใช้งานเพื่อป้องกันปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ ดังนั้นด้านเครื่องจักร ไทลด์จะต้องพิจารณาถึงต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของเครื่องจักร ไทลด์มีสภาพเคลื่อนไหวหรือไม่
2. สมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของเครื่องจักร ไทลด์
3. ลักษณะการทำงานของเครื่องจักร ไทลด์ (เดินเครื่องใช้งานตลอดเวลา, ใช้งานในระยะสั้นๆ, เปลี่ยนแปลง ไทลด์, ใช้งาน ไทลด์เป็นช่วงๆ ฯลฯ)
4. จำนวนการสตาร์ทเครื่องจักร
5. ว่าจะมีความต้องการควบคุมความเร็วรอบหรือไม่ เมื่อต้องการควบคุมความเร็วรอบ ต้องพิจารณาว่าความเร็วรอบต้องเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องกัน (ซึ่งในลักษณะดังกล่าวช่วง

ความเร็วรอบที่ต้องการกำหนดไว้แน่นอน) หรือเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงค่า หรือต้องการความเร็วรอบคงตัว

6. ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโหลด
7. ความเร็วรอบ หรือความเร็วของโหลด
8. กำลังที่ต้องการใช้ของโหลด
9. กรรมวิธีการสตาร์ท (สตาร์ทด้วยมือ หรืออัตโนมัติ และต้องการควบคุมจากระยะภายนอกหรือไม่)
10. กรรมวิธีการ เบรก (คว้าต้องการเบรกกะทันหัน หรือไม่)
11. คว้าต้องการเดินเครื่องถอยหลังบ้าง หรือไม่
12. ตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งมอเตอร์ (โดยเฉพาะสภาพตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ และความชื้น)
13. สภาพแวดล้อมภายนอกบริเวณที่ต้องการใช้มอเตอร์ (พิจารณาว่ามีสภาพก๊าซไวไฟ, หรือระเบิด, หรือสภาวะกรดกัดกร่อน ของก๊าซ และของเหลว, ความชื้นสูง หรือมีหยดน้ำ หรือมีฝุ่นละอองภายนอกมาก, หรือต้องการติดตั้งมอเตอร์ภายใน หรือภายนอกอาคาร, หรือต้องคำนึงถึงสภาพมลภาวะทางเสียงดัง)
14. กรรมวิธีการต่อส่งมอเตอร์ (ต่อประกับเพลาโดยตรง, เกียร์, หรือสายพาน)
15. กรรมวิธีการติดตั้ง

ในสภาพความต้องการต่างๆ ดังกล่าวของเครื่องจักร โหลดจะต้องทำการเลือกมอเตอร์ โดยคำนึงสภาพต่างๆ และรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- สมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์ที่ต้องการ
- แรงบิดเริ่มสตาร์ท และแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์
- คว้าต้องการควบคุมความเร็วรอบหรือไม่
- พิกัดใช้งานต่างๆ (พิกัดเดินเครื่องติดต่อกัน พิกัดช่วงระยะเวลาสั้นๆ พิกัดใช้งานเป็นช่วงๆ ฯลฯ)
- ความเร็วรอบของมอเตอร์
- ชนิดของมอเตอร์
- พิกัดกำลังของมอเตอร์
- สภาพของแหล่งจ่ายไฟ ขนาด, ความถี่, ค่าศักดาไฟฟ้า และจำนวนเฟส
- ชนิดของชั้นฉนวน
- ชนิดของการควบคุมที่ใช้
- การป้องกันต่างๆ ของการติดตั้งเครื่อง
- มติของเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบวางเครื่องตามแนวนอน หรือแนวตั้ง และ หรือชนิดที่มีหน้าประทับ
- เครื่องประกอบอื่นๆ (ฐาน, มู่เต้, ฯลฯ)

พิจารณารายละเอียดของสมบัติต่างๆ ของมอเตอร์

การจำแนกประเภทของมอเตอร์โดยสมบัติ ความเร็วรอบ-แรงบิด

โดยทั่วไป มอเตอร์จะถูกแยกประเภทออกตามแหล่งจ่ายไฟฟ้า และหลักการหมุนใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถแยกประเภทของมอเตอร์ โดยใช้ความต้องการของสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิด ในการเลือกใช้มอเตอร์

ตารางที่ 2.1 การแจกแจงมอเตอร์ออกต่างสมบัติ

การแจกแจงโดยสมบัติ	การแจกแจงโดยหลักการ	หมายเหตุ
มอเตอร์ชนิดความเร็วรอบคงที่	มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน - มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ชนิดโรเตอร์ทรงกระบอก - มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ชนิดโรเตอร์พันขลวด มอเตอร์ซิงโครนัส	สมบัติวงจรมอเตอร์ (ความเร็วรอบไม่คงที่ที่เดียวกัน) ชนิดทรงกระบอกธรรมดา (มีค่าความต้านทานต่ำ) ขณะใช้งาน โดยลัดวงจรวงแหวนลื่น
มอเตอร์ชนิดความเร็วรอบเกือบคงที่	-มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	มีชนิดแยกเฟสสตาร์ท, คาปาซิเตอร์สตาร์ท, คาปาซิเตอร์ถาวร, ฯลฯ
การแจกแจงโดยสมบัติ	การแจกแจงโดยหลักการ	หมายเหตุ
มอเตอร์ชนิดปรับความเร็วรอบได้	มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน คอมมิวเตเตอร์มอเตอร์สามเฟส ชนิดวงจรมอเตอร์ - มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ชนิดโรเตอร์พันขลวด	มอเตอร์ที่สามารถปรับค่าของสนามแม่เหล็กได้ช่วงกว้าง โดยการปรับค่าความต้านทานของวงจรถูดยุทิมิ
มอเตอร์ชนิดเปลี่ยนแปลง	มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม	สมบัติวงจรมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบได้	<ul style="list-style-type: none"> - คอมมิวนิตเตอร์มอเตอร์สามเฟสชนิดวงจรถอนุกรม - คอมมิวนิตเตอร์มอเตอร์เฟสเดียวชนิดวงจรถอนุกรม - มอเตอร์ชนิดผลัดหมุน - มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 	โรเตอร์ชนิดพิเศษ (มีค่าความต้านทานด้านพุทิตสูง)
----------------	---	---

2.5 ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด[4]

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะ แต่สามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ วัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดคราก ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นดึงเป็นหลัก แต่จะใช้กับวัสดุที่มีจุดครากก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงแรงเค้นดึงครากเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับทฤษฎีอื่นได้ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความเค้นดึงครากของวัสดุนั้น

ความเค้นหลักสูงสุดในที่นี้หมายถึงค่าสมบูรณ์สูงสุด(maximum absolute value) ถ้าพิจารณาเฉพาะความเค้นตึง($\sigma_x = 0$) และให้ N เป็นค่าความปลอดภัย สมการที่แสดงถึงทฤษฎีนี้คือ

$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad \text{ถ้า } |\sigma_1| > |\sigma_2| \quad (2.1)$$

$$\text{หรือ } \sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad \text{ถ้า } |\sigma_2| > |\sigma_1| \quad (2.2)$$

ให้ $x = \frac{N\sigma_1}{\sigma_y}$ และ $y = \frac{N\sigma_2}{\sigma_y}$ สมการที่ (2.1) และสมการที่ (2.2) จะเขียนได้เป็น

$$x = \pm 1, y = \pm 1 \quad (2.3)$$

ซึ่งสมการนี้สามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของความเค้นผสมที่ได้จากวัสดุสำหรับงานที่ออกแบบเป็นรูสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2.6 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด[4]

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุเหนียว มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเกณฑ์ของเทรสกา (Tresca's criterion) เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้กันมาก เพราะใช้งานง่ายและปลอดภัย ทฤษฎีนี้กล่าวว่า

วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงเฉือนสูงสุดของวัสดุชนิดเดียวกัน ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุดคราก

จากกลศาสตร์วัสดุพบว่า ความเค้นแรงเฉือนสูงสุดเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงจนถึงจุดครากมีค่าเท่ากับ $\sigma_y/2$ และเกิดบนระนาบเอียงทำมุม 45° กับแนวแรงดึงรับทดสอบ ซึ่งตามทฤษฎีนี้จะเริ่มเกิดความเสียหายเมื่อ τ_{\max} เท่ากับ $\sigma_y/2$ เพราะฉะนั้นสมการที่ต้องนำมาคิดในการออกแบบคือ

$$\text{หรือ} \quad \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N}$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{\sigma_1}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N}$$

ซึ่งจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.4 \text{ ก})$$

$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.4 \text{ ข})$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.4 \text{ ค})$$

$$\text{หรือ} \quad x - y = \pm 1, x = \pm 1, y = \pm 1 \quad (2.5)$$

โดยที่ x และ y มีความหมายเช่นเดียวกัน

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ชิ้นส่วนเรื่องจักรกลจำนวนมากจะมีสถานะของความเค้นเป็นกรณีพิเศษ ในกรณีนี้ถ้ายอมให้ความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_y}{N} \quad (2.6)$$

แล้วแทนค่า τ_{\max} ลงในสมการ แล้วจัดรูปใหม่จะได้

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

โดยที่ $\tau_y = \sigma_y / 2$ ดังที่กล่าวมาแล้ว

2.7 ทฤษฎีออกคตะฮีดรัล[4]

ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัล(octahedral shear stress theory) และทฤษฎีพลังงานแปรรูป(distortion energy theory) ให้ผลในการคำนวณเหมือนกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัลเท่านั้น สำหรับผู้ที่สนใจในการหาค่าตอบโดยการใช้ทฤษฎีพลังงานแปรรูป

ในทางทฤษฎีพลาสติกซิตี้ (plasticity) มักจะเรียกชื่อทฤษฎีนี้ว่า ทฤษฎีของ von Mises หรือ Huber-Hencky Criterion ทั้งนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่บุคคลผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ขึ้นมาไว้

ระนาบออกคตะฮีดรัล (octahedral plane) หมายถึงระนาบที่เอียงทำมุมกับทิศทางของความเค้นหลักทั้งสามเท่ากัน เช่น ระนาบ ABC ทิศทางโคไซน์ (directional cosine) ของระนาบนี้มีค่าเท่ากับ $1/\sqrt{3}$ และความเค้นเฉือนบนระนาบนี้เรียกว่า ความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัล τ_{oc} ทฤษฎีนี้กล่าวว่า

วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัลในวัสดุ มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงชิ้นทดลองขณะถึงจุดคราก

ในกรณีที่ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้ความเค้นตามมิติ ค่าความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัล คือ

$$\tau_{oc} = \frac{1}{3} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

ในการทดสอบแรงดึง ความเค้นหลัก σ_2 และ σ_3 เท่ากับศูนย์ และเมื่อถึงจุดคราก ความเค้นหลัก $\sigma_1 = \sigma_y$ ดังนั้นความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัล จะหาได้จากสมการที่ (2.8) โดยให้

$\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ และ $\sigma_1 = \sigma_y$ นั่นคือ

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_y = 0.471 \sigma_y \quad (2.9)$$

จากทฤษฎีนี้ความเสียหายหรือการคราก จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อ $\tau_\infty = \tau$ นั่นคือเมื่อ

$$2\sigma_y^2 = [\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2 \quad (2.10)$$

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไป ซึ่งพิจารณาความเค้นในสองมิติ ซึ่ง $\sigma_3 = 0$ และเมื่อใช้ค่าความปลอดภัย N สมการที่ (2.10) จะเหลือเพียง

$$\left[\frac{\sigma_y}{N} \right]^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2 \quad (2.11ก)$$

หรือ $1 = x^2 - xy + y^2 \quad (2.11ข)$

ซึ่งเป็นสมการของรูปวงรี ที่มีความยาวครึ่งแกนยาวและครึ่งแกนสั้นเท่ากับ $\sqrt{2}$ และ $\sqrt{\frac{2}{3}}$ ตามลำดับ ดังนั้นรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่ยอมให้มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบจึงเป็นรูปวงรี

การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหายทั้งสามทฤษฎี ซึ่งจะพบว่า ถ้าความเค้นภายในชิ้นงานที่รับแรงอยู่ ณ บริเวณจุด A B C D E หรือ F แล้วทฤษฎีทั้งสามจะให้ขนาดของชิ้นงานเท่ากัน แต่ทฤษฎีทั้งสามนี้จะแตกต่างกันมากที่สุดตามแนวแกน GH

เนื่องจากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดล้อมรอบพื้นที่น้อยที่สุด ดังนั้นชิ้นส่วนที่คำนวณหาขนาดโดยใช้ทฤษฎีนี้จะมีขนาดโตกว่าที่คำนวณโดยใช้อีกสองทฤษฎี (ยกเว้นที่จุดร่วมกัน)

ถ้าสถานะของความเค้นเป็นไปตาม กรณีของเพลาส่งกำลังเมื่อแทน แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{\sigma_y}{N} = [\sigma^2 + 3\tau^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2.12ก)$$

หรือ $\frac{1}{N} = \left[\frac{\sqrt{3}\tau}{\sigma_y} \right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.12ข)$

ถ้าให้ $\tau_y = 0.577 \sigma_y$ แล้ว อาจจัดรูปสมการที่ (4.12ข) ได้เหมือนกับสมการ(2.7) คือ

$$\frac{1}{N} = \left[\left[\frac{\tau}{\tau_y} \right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.12ก)$$

นอกจากนี้ยังมีทฤษฎีความเสียหายอื่น ๆ อีก เช่น ทฤษฎีความเครียดหลักสูงสุด (maximum principal strain theory) และทฤษฎีพลังงานความเครียดสูงสุด (maximum strain energy theory) แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

2.8 เกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก[4]

ในการออกแบบชิ้นงานโดยคิดความล้า มักนิยมใช้วิธีการที่เรียกว่า เกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก (Soderberg's criterion) เป็นส่วนมาก แต่ก่อนที่จะถึงวิธีการออกแบบดังกล่าว ให้มาพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงแรง (หรือความเค้น) และนิยามบางคำต่อไปนี้ ในชิ้นงานทั่วไปแล้วแรงจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่อาจจะทราบได้อย่างแน่นอน แต่เพื่อให้สามารถคำนวณได้จึงสมมติให้แรงเปลี่ยนแปลงในลักษณะแบบไซน์ซอยดัล (sinusoidal) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเค้นซึ่งมีค่าเป็นบวก (ความเค้นดึง) ตลอดเวลา เป็นแบบกระทำซ้ำ คือเปลี่ยนแปลงจากค่าศูนย์ไปเป็นค่าสูงสุดแล้วกลับมาเป็นศูนย์อีก เป็นแบบกลับไปกลับมา คือเปลี่ยนแปลงจากค่าบวกสูงสุดไปยังค่าลบสูงสุดที่มีขนาดเท่ากัน ถ้าให้อัตราส่วน

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

โดยที่

เป็นความเค้นต่ำสุด และ

เป็นความเค้นสูงสุด จะได้ว่า

$$R = 0$$

$$R = -1$$

นอกจากนี้ยังมีนิยามที่จำเป็นจะต้องทราบอีกคือ

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\min} - \sigma_{\max}}{2} = \text{ความเค้นส่วนเปลี่ยน (stress amplitude)}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}}{2} = \text{ความเค้นเฉลี่ย (mean stress)}$$

โดยที่ σ_a และ σ_m สามารถหาได้จากสมการ

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A} \text{ หรือ } \frac{M_a c}{I} \text{ หรือ } \frac{\alpha F_a}{A} \text{ หรือ } \frac{T_a r}{J} (\tau_a)$$

$$\sigma_m = \frac{F_m}{a} \text{ หรือ } \frac{M_m c}{I} \text{ หรือ } \frac{\alpha F_m}{A} \text{ หรือ } \frac{T_m r}{J} (\tau_m)$$

ส่วนค่า F_a, M_a, T_a, F_m, M_m และ T_m หาค่าได้จากสมการ

ไซเคอร์เบอร์กได้เขียนจุดที่ได้จากการทดลองขึ้นตัวอย่างจนแตกหักบนแกน

แล้วโยงเส้น AB จากค่า $\sigma_a = \sigma_n$ ไปยัง $\sigma_m = \sigma_y$ และพบว่าจุดเหล่านี้อยู่นอกเส้น AB เป็นส่วนใหญ่ แสดงว่าถ้าหากขนาดของชิ้นงานทำให้สภาพของความเค้นอยู่บนเส้น AB แล้ว ชิ้นงานจะไม่แตกหักเนื่องจากความล้า ในการออกแบบจะเพิ่มค่าความปลอดภัย N เข้าไปอีก ดังนั้นเส้น GE จึงเป็นเส้นที่ใช้ในการออกแบบ

ในการหาสมการเส้น GE ให้พิจารณาสามเหลี่ยมคล้าย DEF และ ABC ดังนี้

$$\frac{DF}{AC} = \frac{EF}{BC}$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_n} = \frac{\left(\frac{\sigma_y}{N}\right) - \sigma_m}{\sigma_y}$$

หรือ

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y} + \frac{\sigma_a}{\sigma_n}$$

สมการ เป็นสมการของไซเคอร์เบอร์กที่ต้องการและเหมาะกับการออกแบบชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเหนียว สำหรับวัสดุเปราะจะไม่มีจุดคราก ความเค้นที่ใช้ก็อาจจะเป็นความต้านแรงดึง หรือความเค้นพิสูจน์ (proof stress) ก็ได้ กู๊ดแมน (Goodman) ได้วิเคราะห์ทำนองเดียวกันกับไซเคอร์เบอร์ก แต่แทนจุด B ด้วยความต้านแรงดึง σ_u แทนที่จะใช้ความต้านแรงดึงคราก σ_y จึงได้สมการในลักษณะเดียวกับสมการ คือ

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_u} + \frac{\sigma_a}{\sigma_n}$$

ในกรณีที่ชิ้นงานมีความเค้นหนาแน่น ผู้ชำนาญการออกแบบได้แนะนำให้อัตราประกอบความเค้นหนาแน่น K_f กับ σ_m เท่านั้น ทั้งนี้เพราะถือว่าความเค้นเฉลี่ย σ_m เปรียบเสมือนแรงที่อยู่หนึ่งไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความล้า ในกรณีหลังนี้จึงกลายเป็น

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y} + \frac{K_f \sigma_a}{\sigma_n}$$

และ

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y} + \frac{K_f \sigma_a}{\sigma_n}$$

นอกจากสมการที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสมการของเกอร์เบอร์ (Gerber) อีก แต่เนื่องจากเป็นสมการพาราโบลา ทำให้การคำนวณไม่ค่อยสะดวกจึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันนัก ผู้อ่านที่สนใจอาจจะหาได้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 2 สมการที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ สมการ ส่วนสมการ ก็มีใช้กันบ้าง แต่จะใช้กับวัสดุประเภทเป็นส่วนใหญ่

สมการดังกล่าวมาแล้วสามารถใช้ได้ในกรณีที่ชิ้นงานรับแรงเฉือนหรือแรงบิด แต่ต้องแทนค่า σ_y ด้วย τ_y ดังนั้นสมการของไซเคอร์เบอร์ก็สำหรับกรณีนี้จะกลายเป็น

$$\frac{1}{N} = \frac{\tau_m}{\tau_y} + \frac{\tau_a}{\tau_n}$$

$$\frac{1}{N} = \frac{\tau_m}{\tau_y} + \frac{K_{fs} \tau_a}{\tau_n}$$

โดย K_{fs} เป็นตัวประกอบความเค้นหนาแน่นของความเค้นเฉือน

2.9 การออกแบบเพลาตามโค้ด ASME[4]

ก่อนปี พ.ศ. 2497 โดยมีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหา

สมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาให้เป็นเพลลากลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ

ความเค้นดึงหรือกด
$$\sigma_o = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.13)$$

ความเค้นดัด
$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.14)$$

ความเค้นเฉือน
$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.15)$$

กรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการโก่งงอ (buckling) ดังนั้นสมการที่(2.13) จะกลายเป็น

$$\sigma_o = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.16)$$

เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor) มาเกี่ยวข้องกับค้ำ

ถ้าให้ c_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
 c_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ (2.14) และสมการที่ (2.15) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.17)$$

และ
$$\tau_{xy} = \frac{16C_t Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.18)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (2.19)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[\tau_{xy}^2 + \left[\frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

แทนสมการที่ (2.16),(2.17),(2.18) และสมการที่ (2.19) ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K)} \left[(C,T)^2 + \left[\frac{\alpha F d (1+k^2)}{8} + C_{mM} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

โดยที่ $K = \frac{d_i}{d}$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (2.20) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C,T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.21)$$

หรือในกรณีเหล่านี้ $K = d_i/d = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.21) ก็ได้สมการที่อยู่ในรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left[(C,T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.22)$$

ค่าตัวประกอบความต้านทานเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวประกอบความต้านทาน

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายู่ง : แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลายมุน : แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

สำหรับตัวประกอบของการโค้งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \text{ เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง} \quad (2.23)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044(L/k)} \text{ เมื่อ } \frac{L}{k} \leq 115 \quad (2.24)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y (L/k)^2}{\pi^2 n E} \text{ เมื่อ } \frac{L}{k} > 115 \quad (2.25)$$

โดยที่ $n = 1.00$ เมื่อปลายเป็นแบบ SS

$n = 2.25$ เมื่อปลายเป็นแบบ CC

$n = 1.60$ เมื่อปลายเพลายึดเป็นบางส่วน (partially restrained)

$L =$ ความยาวจริงของเพลาย

จะเห็นว่าสมการที่ (2.24) เป็นสมการของสูตรเส้นตรง (straight line formula) และสมการที่ (2.25) เป็นสมการรอยเออร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลายซึ่งมีใช้ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55 \frac{N}{mm^2} \quad \text{สำหรับเพลทที่ไม่มีร่องลิ้ม}$$

$$\tau_d = 41 \frac{N}{mm^2} \quad \text{สำหรับเพลทที่มีร่องลิ้ม}$$

แต่ถ้ากำหนดควัตถุของเพลทที่บอกหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าของความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ (2.26) โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณคือ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\sigma_u \quad (2.26)$$

และถ้าเพลทมีร่องลิ้มที่ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75 % ของค่าในสมการที่

2.10 จุดศูนย์กลางและจุดศูนย์กลางมวล[5]

แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นแรงกระทำแบบกระจายทั่วทั้งปริมาตรของวัตถุ ซึ่งเราต้องแทนแรงที่กระจายบนปริมาตรเหล่านี้ด้วยแรงเพียง 1 แรงที่เทียบเท่ากันในทางกลศาสตร์ แสดงวัตถุหนึ่งซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องกันจำนวน n อนุภาค โดยกำหนดให้น้ำหนักของแต่ละอนุภาคมีทิศทางขนานกันสู่ผิวโลก ให้ w แทนแรง 1 แรง แรงที่เทียบเท่ากับผลรวมของน้ำหนักของแต่ละอนุภาค โดย w กระทำที่จุดศูนย์กลางซึ่งเรียกว่า จุดศูนย์กลาง เนื่องจากทิศทางของน้ำหนักของแต่ละอนุภาคพุ่งสู่โลกในแนวขนานกัน ดังนั้นน้ำหนัก w จึงมีทิศทางพุ่งสูงโลกด้วยเช่นกัน และขนาดของน้ำหนัก w คำนวณได้จากผลรวมของน้ำหนักแต่ละอนุภาค ดังนี้

$$w = \sum_{i=1}^n w_i$$

ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางได้จากการพิจารณา โมเมนต์ กล่าวคือ โมเมนต์จากน้ำหนัก w รอบแกนหนึ่ง จะต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของโมเมนต์จากน้ำหนักของแต่ละอนุภาครอบแกนเดียวกัน หรือเขียนในรูปของสมการคณิตศาสตร์ เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบแกน xyz ได้ดังนี้

$$M_y = w\bar{x} = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

$$M_x = w\bar{y} = \sum_{i=1}^n w_i y_i$$

$$M_z = w\bar{z} = \sum_{i=1}^n w_i z_i$$

โดยที่ \bar{x} , \bar{y} และ \bar{z} แสดงตำแหน่งของจุด CG ส่วน x_i , y_i และ z_i แสดงตำแหน่งของแต่ละอนุภาค หากอนุภาคเหล่านี้มีความต่อเนื่องกันเครื่องหมายผลรวม (\sum) ในสมการข้างต้นจะถูกแทนที่ด้วยการปารีพันธ์ (integrate) บนขอบเขตของปริมาตรของวัตถุ ดังนี้

$$w = \int dw$$

$$M_y = w\bar{x} = \int x_i dw \rightarrow \bar{x} = \frac{1}{w} \int x_i dw$$

$$M_x = w\bar{y} = \int y_i dw \rightarrow \bar{y} = \frac{1}{w} \int y_i dw$$

$$M_z = w\bar{z} = \int z_i dw \rightarrow \bar{z} = \frac{1}{w} \int z_i dw$$

ตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง \bar{x} , \bar{y} และ \bar{z} ที่คำนวณได้ข้างต้นอยู่ในสมการแบบสเกลาร์โดยแยกตามแกน xyz ซึ่งสามารถรวมทั้ง 3 สมการไว้ด้วยกันในรูปของเวกเตอร์ได้ โดยกำหนดให้ $\bar{r} = \bar{x}\bar{i} + \bar{y}\bar{j} + \bar{z}\bar{k}$ เป็นเวกเตอร์แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง และ $r_i = x_i\bar{i} + y_i\bar{j} + z_i\bar{k}$ เป็นเวกเตอร์แสดงตำแหน่งของแต่ละอนุภาค ดังนั้น

$$w\bar{x}\bar{i} + w\bar{y}\bar{j} + w\bar{z}\bar{k} = \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i \right) \bar{i} + \left(\sum_{i=1}^n w_i y_i \right) \bar{j} + \left(\sum_{i=1}^n w_i z_i \right) \bar{k}$$

หรือ
$$w(\bar{x}\bar{i} + \bar{y}\bar{j} + \bar{z}\bar{k}) = \sum w_i (x_i\bar{i} + y_i\bar{j} + z_i\bar{k})$$

หรือ
$$w\bar{r} = \sum_{i=1}^n w_i r_i$$

ดังนั้น
$$\bar{r} = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^n w_i r_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากอนุภาคที่พิจารณาเป็นอนุภาคของวัตถุที่มีความต่อเนื่องแล้ว จะต้องเปลี่ยนเครื่องหมายผลรวมเป็นเครื่องหมายปริพันธ์ (integral) ดังนี้

$$\bar{r} = \frac{1}{W} \int r_i dw$$

สำหรับงานทางด้านวิศวกรรม วัตถุมีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับขนาดของโลก ดังนั้นแต่ละอนุภาคที่ประกอบกันเป็นวัตถุจึงกำหนดให้อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่ากันได้ และเนื่องจากความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคกับจุดศูนย์กลางของโลก ดังนั้นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่ออนุภาคแต่ละอนุภาคจึงมีค่าเท่ากันด้วยการใช้ค่าเฉลยค่าแห่งของจุดศูนย์กลาง สามารถสรุปได้ดังนี้ขั้นตอนต่อไป

จากความสัมพันธ์ $dw = g dm$
 โดยที่ dm คือมวลของแต่ละอนุภาค
 dw คือน้ำหนักของแต่ละอนุภาค
 g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีค่าคงตัวสำหรับแต่ละอนุภาค

ให้นำสมการของ dw แทนลงในสมการ และลดรูปสมการด้วยการตัดค่าคงตัว g ออก
 จะได้

$$mg = \int g dm \rightarrow m = \int dm$$

$$M_y = mg\bar{x} = \int x_i g dm \rightarrow \bar{x} = \frac{1}{m} \int x_i dm$$

$$M_x = mg\bar{y} = \int y_i g dm \rightarrow \bar{y} = \frac{1}{m} \int y_i dm$$

$$M_z = mg\bar{z} = \int z_i g dm \rightarrow \bar{z} = \frac{1}{m} \int z_i dm$$

พิกัด \bar{x}, \bar{y} และ \bar{z} ที่คำนวณได้จากสมการแสดงค่าแห่งของจุดศูนย์กลางที่เรียกว่า จุดศูนย์กลางมวล ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับจุดศูนย์กลาง แต่มีข้อได้เปรียบกว่า คือ ไม่ต้องพิจารณาผลของ

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก จึงทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลไม่เปลี่ยนแปลงตามความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก อีกทั้งจุดศูนย์กลางมวลยังมีค่าและสามารถหาค่าได้แม้อยู่ในอวกาศ ดังนั้น โดยทั่วไปจึงมักกล่าวถึงจุดศูนย์กลางมวลมากกว่าจุดศูนย์กลาง

ปริพันธ์ในรูป $\int xdm$, $\int ydm$ และ $\int zdm$ จากสมการ เรียกว่า โมเมนต์อันดับที่หนึ่งของมวล (first moment of mass) เนื่องจากระยะ x , y และ z เป็นเสมือนแขนของโมเมนต์ของมวลยกกำลังหนึ่ง ในทำนองเดียวกัน ปริพันธ์ในรูป

เรียกว่า โมเมนต์อันดับที่สองของมวล (second moment of mass) เนื่องจากระยะ x , y และ z เป็นเสมือนแขนของโมเมนต์ของมวลยกกำลังหนึ่งในทำนองเดียวกันปริพันธ์ในรูป $\int x^2 dm$, $\int y^2$ และ

$\int z^2$ เรียกว่า โมเมนต์อันดับที่สองของมวล (second moment of mass) เนื่องจากระยะ x, y และ z เป็นเสมือนแขนของโมเมนต์ของมวลยกกำลังสอง จะสังเกตได้ว่าโมเมนต์ที่กล่าวถึงในที่นี้ไม่จำเป็นต้องหมายถึงโมเมนต์จากแรง และยังจะได้พบต่อไปอีกว่านอกเหนือจากโมเมนต์ในรูปของมวลแล้ว ยังมีโมเมนต์ในรูปของตัวส่วนของเส้นตรง พื้นที่และปริมาตรด้วย

2.11 จุดเซนทรอยด์[5]

ในหัวข้อที่ผ่านมาเราได้เริ่มจากการพิจารณาจุดศูนย์กลาง จากนั้นเมื่อพิจารณาว่าโครงสร้างทางวิศวกรรมมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับรัศมีของโลก จึงสามารถกำหนดให้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าคงตัว ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนจุดศูนย์กลางเป็นจุดศูนย์กลางมวล ในหัวข้อนี้ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อพิจารณาวัตถุที่มีรูปร่างเป็น 3 มิติแล้ว จุดศูนย์กลางมวลจะสามารถสรุปได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความหนาแน่นและปริมาตรของวัตถุ ดังสมการต่อไปนี้

$$m = \rho V$$

เมื่อพิจารณาแต่ละอนุภาคของวัตถุซึ่งมีขนาดเล็ก จะทำให้มวลของแต่ละอนุภาคสามารถแทนได้ด้วยปริมาณเชิงอนุพันธ์ดังนี้

$$dm = d(\rho V)$$

$$= \rho dV + v d\rho$$

เนื่องจากโครงสร้างทางวิศวกรรมมักทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน (ความหนาแน่นคงตัว) ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น ($d\rho$) มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$dm = \rho dV$$

นำ dm แทนลงในสมการ และลดรูปสมการโดยตัดค่า ρ ซึ่งมีค่าคงตัวออก จะได้

$$\rho V = \int \rho dV \rightarrow V = \int dV$$

$$\rho V \bar{x} = \int x_i \rho dV \rightarrow V \bar{x} = \int x_i dV \rightarrow \bar{x} = \frac{1}{V} \int x_i dV$$

$$\rho V \bar{y} = \int y_i \rho dV \rightarrow V \bar{y} = \int y_i dV \rightarrow \bar{y} = \frac{1}{V} \int y_i dV$$

$$\rho V \bar{z} = \int z_i \rho dV \rightarrow V \bar{z} = \int z_i dV \rightarrow \bar{z} = \frac{1}{V} \int z_i dV$$

สมการ ใช้คำนวณพิกัด \bar{x} , \bar{y} และ \bar{z} โดยไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณทางฟิสิกส์ใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หรือมวลของแต่ละอนุภาค นอกจากนั้นยังพบว่าการคำนวณค่า \bar{x} , \bar{y} และ \bar{z} นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณทางเรขาคณิตเท่านั้น (ในกรณีนี้คือปริมาตร) และให้เรียกจุดศูนย์กลางซึ่งแสดงด้วยพิกัดเหล่านี้ว่า จุดเซนทรอยด์

ที่ผ่านมาเป็นการพิจารณาวัตถุใน 3 มิติ แต่หากวัตถุเป็นพื้นที่แบนบางใน 2 มิติ เช่น แผ่นเหล็ก เป็นต้น มวลของวัตถุในกรณีนี้คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$m = \rho V = \rho t a$$

เมื่อ t คือความหนาของวัตถุซึ่งมีค่าคงตัว
 A คือพื้นที่ของวัตถุ

ดังนั้น เมื่อพิจารณามวลของแต่ละอนุภาค โดยกำหนดให้ความหนาแน่นและความหนามีค่าคงตัว จะได้ว่า

$$\begin{aligned} dm &= d(\rho t a) \\ &= \rho t da + \rho A dt + t a d\rho \\ &= \rho t da \end{aligned}$$

นำค่า dm สำหรับวัตถุที่มีลักษณะเป็นพื้นที่แทนลงในสมการ และลดรูปสมการเช่นเดียวกับกรณีของวัตถุใน 3 มิติจะได้

$$A = \int da$$

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \int x_i da$$

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \int y_i da$$

$$\bar{z} = \frac{1}{A} \int z_i da$$

ในทำนองเดียวกัน หากวัตถุมีลักษณะเป็นเส้นใน 1 มิติ เช่น สายเคเบิ้ล เป็นต้น มวลของวัตถุนี้จะสามารถหาได้จาก

$$m = \rho V = \rho AL$$

เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุซึ่งมีค่าคงตัว
 L คือความยาวของวัตถุ

ดังนั้นเมื่อพิจารณามวลของแต่ละอนุภาค โดยกำหนดให้ความหนาแน่นและพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงตัวจะได้

$$\begin{aligned} dm &= d(\rho AL) \\ &= \rho AdL + \rho LdA + LAd\rho \\ &= \rho AdL \end{aligned}$$

นำค่า dm แทนลงในสมการและลดรูปสมการเช่นเดียวกับกรณีของวัตถุใน 3 มิติจะได้

$$L = \int dl$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{x} = \frac{1}{L} \int x, dl$$

$$\bar{y} = \frac{1}{L} \int y, dl$$

$$\bar{z} = \frac{1}{L} \int z, dl$$

พิกัด \bar{x} , \bar{y} และ \bar{z} ที่ผ่านมาทั้งในกรณีทีวัตถุมีลักษณะเป็นปริมาตร พื้นที่และเส้น เกิดจากการกำหนดให้วัตถุมีความหนาแน่นคงตัว ซึ่งสมการที่ได้ขึ้นอยู่กับรูปร่างทางเรขาคณิตของวัตถุเท่านั้น พิกัดเหล่านี้ใช้แสดงจุดศูนย์กลางของวัตถุที่เรียกว่าจุดเซนทรอยด์ โดยที่จุดเซนทรอยด์ของวัตถุแต่ละประเภทจะแตกต่างกัน กล่าวคือ หากพิจารณาวัตถุใน 3 มิติจะเรียกว่า จุดเซนทรอยด์ของปริมาตร (centroid of volume) ส่วนกรณีวัตถุใน 2 มิติจะเรียกว่า จุดเซนทรอยด์ของพื้นที่ (centroid of area) และหากพิจารณาวัตถุใน 1 มิติ จะเรียกว่า จุดเซนทรอยด์ของเส้น (centroid of line) หากความหนาแน่นของวัตถุมีค่าไม่คงตัว การลบลรูปสมการสำหรับคำนวณจุดศูนย์กลางมวลให้เป็นจุดเซนทรอยด์จะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากเราจะถึงค่า ρ ออกจากเครื่องหมายปริพันธ์ไม่ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบฟังก์ชันของความหนาแน่นในรูปของพิกัดหรือตำแหน่งของวัตถุ (ต้องทราบว่าที่แต่ละตำแหน่งของวัตถุมีความหนาแน่นเท่าใด) ซึ่ง \bar{x} , \bar{y} และ \bar{z} ที่ได้จากการคำนวณในกรณีนี้จะไม่ใช่จุดเซนทรอยด์ แต่หากความหนาแน่นของวัตถุมีค่าคงตัว จุดศูนย์กลางมวลกับจุดเซนทรอยด์จะเป็นจุดเดียวกัน โดยส่วนใหญ่โครงสร้างทางวิศวกรรมมักมีความหนาแน่นคงตัว จึงเป็นการง่ายและสะดวกกว่าหากใช้สมการคำนวณจุดเซนทรอยด์แทนสมการคำนวณจุดศูนย์กลางมวลและวิธีการนี้คือเป้าหมายของการศึกษาในบทนี้

การคำนวณพิกัดของจุดเซนทรอยด์ตามสมการ นั้น จะต้องเลือกใช้ตัวแทนขนาดเล็กลงของวัตถุ (ในที่นี้หมายถึง dV , dA หรือ dL และต่อไปให้เรียกว่าชิ้นประกอบ (element) ที่เหมาะสมกับการหาปริพันธ์ รวมไปถึงการกำหนดระบบพิกัดที่ทำให้หาปริพันธ์ได้ง่าย ดังนั้นในที่นี้จึงได้สรุปหลักเกณฑ์สำหรับเลือกระบบพิกัดและรูปแบบของชิ้นประกอบพร้อมทั้งรายละเอียดจำนวน 5 ข้อ โดยในเบื้องต้นจะทำการศึกษาหลักเกณฑ์ทั้งห้าก่อน จากนั้นจึงเน้นการสร้าง ความเข้าใจจากตัวอย่างการคำนวณ ซึ่งจะทำให้ศึกษาได้รวดเร็วยิ่งขึ้น หลักเกณฑ์ทั้งห้ามีดังนี้

1) อันดับของชิ้นประกอบเชิงอนุพันธ์

ชิ้นประกอบเชิงอนุพันธ์ คือ ตัวแทนขนาดเล็กลงของวัตถุซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการหา

ปริพันธ์ คำนวณถ้าเป็นไปได้ควรเลือกใช้จําประกอบที่มีอันดับของอนุพันธ์ต่ำกว่า ก่อนที่จะเลือกใช้จําประกอบที่มีอันดับของอนุพันธ์สูงขึ้นไป เพื่อให้หาปริพันธ์เทียบกับตัวแปรจํานวนน้อยที่สุดและง่ายต่อการคำนวณ เช่น วัตถุที่มีพื้นผิวควรเลือกจําประกอบเป็นแถบยาวในแนวราบ เพื่อให้พื้นที่เชิงอนุพันธ์ที่มีอันดับหนึ่ง คือ $dA = bdy$ ซึ่งเมื่อหาปริพันธ์เทียบกับตัวแปร y เพียงตัวแปรเดียวก็จะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด แต่หากใช้จําประกอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่กว้าง dx และยาว dy จะทำให้พื้นที่เชิงอนุพันธ์ที่มีอันดับสอง คือ $da = dx dy$ และทำให้ต้องหาปริพันธ์สองครั้งเทียบกับตัวแปร x และ y

อีกตัวอย่างหนึ่ง คือการวolumหาเลือกจําประกอบเป็นแผ่นวงกลมบางแล้ว ปริมาตรของจําประกอบเชิงอนุพันธ์จะมีอันดับหนึ่ง คือ $dV = \pi r^2 dy$ และทำให้หาปริพันธ์เทียบกับตัวแปร y เพียงครั้งเดียวก็ครอบคลุมปริมาตรทั้งหมดได้แต่หากเลือกจําประกอบเป็นรูปลูกบาศก์จะทำให้ปริมาตรเชิงอนุพันธ์มีอันดับสาม คือ $dV = dx dy dz$ และต้องหาปริพันธ์ถึงสามครั้งเทียบกับตัวแปร x , y และ z จึงจะครอบคลุมปริมาตรทั้งหมด

2) ความต่อเนื่องของจําประกอบ

จําประกอบที่เลือกใช้ควรสามารถหาปริพันธ์ได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การกำหนดขอบเขตของการหาปริพันธ์เพียงครั้งเดียวสามารถครอบคลุมขอบเขตทั้งหมดของวัตถุได้ เช่น จําประกอบสำหรับวัตถุควรเลือกใช้เป็นแถบยาวในแนวราบมากกว่าที่จะเลือกใช้เป็นแถบยาวในแนวตั้งคังภาพ เนื่องจากขอบเขตของการหาปริพันธ์ จะอยู่ภายในขอบเขตของเส้นโค้งทางด้านซ้ายไปจนถึงเส้นโค้งทางด้านขวาเพียงรูปแบบเดียว แต่หากเลือกจําประกอบในแนวตั้งจะทำให้การหาปริพันธ์ต้องแยกออกเป็นสองส่วน โดยการหาปริพันธ์ในส่วนแรกจะอยู่ในขอบเขตจาก $y = 0$ ไปจนถึงเส้นโค้งด้านซ้าย และการหาปริพันธ์ส่วนที่สองอยู่ภายในขอบเขตจากเส้นโค้งด้านขวาไปจนถึงเส้นโค้งด้านซ้าย ซึ่งจุด x_1 เป็นจุดแบ่งการหาปริพันธ์ออกเป็นสองส่วน

3) พื้นที่เชิงอนุพันธ์ที่มีอันดับสูงกว่าพื้นที่เชิงอนุพันธ์ส่วนอื่น ๆ สามารถคักหึงได้

พิจารณาตัวอย่างของจําประกอบ ซึ่งจําประกอบนี้ประกอบไปด้วยพื้นที่ย่อยสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพื้นที่เท่ากับ $y dx$ และส่วนที่เป็นรูปสามเหลี่ยมอยู่ด้านบน มีพื้นที่เท่ากับ $\frac{1}{2} dx dy$ เนื่องจากจําประกอบที่ใช้เป็นจําประกอบเชิงอนุพันธ์ที่มีขนาดเล็กจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (ตามแนวคิดของแคลคูลัส) ทำให้พจน์ที่มีอันดับของอนุพันธ์สูงกว่า คือ $dx dy$ สามารถคักหึงได้ซึ่งสามารถแสดงจําคอนการลครูปด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้คังนี้

$$dA = ydx + \frac{1}{2} dx dy$$

เมื่อพิจารณาให้จีนประกอบมีขนาดเล็กจะได้ว่า $dx dy$ ยังมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ทำให้

$$\frac{1}{2} dx dy \approx 0 \quad \text{ดังนั้น} \quad dA = y dx$$

4) ระบบพิกัดที่ใช้วัฏระยะ

ระบบพิกัดที่เอกลีควรทำให้สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับแสดงขอบเขตของวัตถุอยู่ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด เพื่อสะดวกต่อการกำหนดขอบเขตของการหาปริพันธ์ เช่น วัตถุควรเลือกใช้ระบบพิกัดฉาก เนื่องจากสะดวกต่อการกำหนดขอบเขตของการหาปริพันธ์ ส่วนวัตถุควรเลือกใช้ระบบพิกัดเชิงขั้ว เนื่องจากวัตถุเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม

นอกเหนือจากการเลือกระบบพิกัดที่เหมาะสมแล้ว การวางตำแหน่งของระบบพิกัดที่เหมาะสมจะช่วยลดการคำนวณพิกัดของจุดเซนทรอยด์ได้ กล่าวคือ หากภาพที่ต้องการหาจุดเซนทรอยด์มีสมมาตรรอบแกนหนึ่งแล้ว ควรวางระบบพิกัดให้ทับกับแกนสมมาตรเพื่อลดการคำนวณพิกัดของจุดเซนทรอยด์ เช่น รูปสามเหลี่ยม มีสมมาตรรอบแกนแนวตั้งที่แบ่งครึ่งตามเหลี่ยมออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน หากวางแกน y ทับกับแกนสมมาตรนี้จะทำให้พิกัด \bar{x} มีค่าเท่ากับศูนย์ทันที และเหลือเพียงการคำนวณพิกัด \bar{y} เท่านั้น

หากวัตถุที่ต้องการทราบพิกัดของจุดเซนทรอยด์มีแกนสมมาตร 2 แกน ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์จะอยู่ที่จุดตัดของแกนสมมาตรทั้งสอง เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีแกนสมมาตรที่แบ่งครึ่งด้านกว้างและด้านยาว โดยเส้นสมมาตรทั้งสองตัดกันที่จุดกึ่งกลางของรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นจุดเซนทรอยด์จึงอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของรูปสี่เหลี่ยม

5) ตำแหน่งจุดเซนทรอยด์ของจีนประกอบ

นอกเหนือจากการเลือกจีนประกอบตามหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังต้องพิจารณาดูว่าทราบตำแหน่งจุดเซนทรอยด์ของจีนประกอบที่เลือกใช้หรือไม่ เนื่องจากต้องใช้ตำแหน่งจุดเซนทรอยด์เพื่อกำหนดระยะแขนของโมเมนต์ในการหาปริพันธ์ พิจารณา ตัวอย่างดังภาพ เลือกใช้จีนประกอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวราบที่มีจุดเซนทรอยด์อยู่ที่กึ่งกลางภาพ เมื่อพิจารณาหาโมเมนต์ M_y จะต้องทราบค่า x_i ซึ่งเป็นแขนของโมเมนต์ที่ใช้ในการหาปริพันธ์ โดยสามารถแสดงขั้นตอนการหาปริพันธ์ได้ดังนี้

$$M = A\bar{x} = \int x_i dA$$

จะเห็นได้ว่า $x_i = \frac{x}{2}$ ดังนั้น

$$\bar{A}x = \int \frac{x}{2} dA$$

เมื่อพิจารณาโมเมนต์ M_x จะต้องทราบค่า y_i ซึ่งเป็นแกนของโมเมนต์ที่ใช้ในการหาปริพันธ์ โดยสามารถแสดงขั้นตอนการหาปริพันธ์ได้ดังนี้

$$M_x = A\bar{y} = \int y_i dA$$

จากภาพจะเห็นได้ว่า $y_i = y$ ดังนั้น

จากหลักเกณฑ์ข้างต้น สามารถสรุปขั้นตอนสำหรับคำนวณพิกัดของจุดเซนทรอยด์ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกระบบพิกัดและจันประกอบที่เหมาะสมกับขอบเขตของภาพที่ต้องการทราบพิกัดของจุดเซนทรอยด์ หากภาพมีแกนสมมาตร ควรวางระบบพิกัดให้ทับกับแกนสมมาตร เพื่อลดการคำนวณลง

ขั้นตอนที่ 2 หาระยะแกนของโมเมนต์ที่ใช้ในการหาปริพันธ์ ซึ่งเป็นระยะของจุดเซนทรอยด์ของจันประกอบ จากนั้นพิจารณาหาค่า dL , dA หรือ dV โดยขึ้นอยู่กับมิติของภาพ และหาค่า L , A หรือ V ของภาพที่ต้องการทราบจุดเซนทรอยด์

ขั้นตอนที่ 3 เขียนสมการโมเมนต์ พร้อมทั้งกำหนดขอบเขตการหาปริพันธ์ที่ถูกต้อง จากนั้นทำการหาปริพันธ์เพื่อหาพิกัดของจุดเซนทรอยด์

บทที่ 3

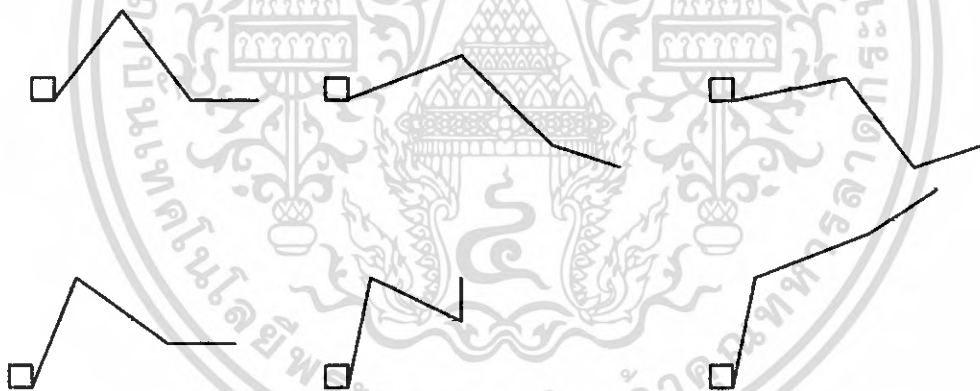
การออกแบบโครงสร้างและคำนวณ

3.1 ลักษณะโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างนั้น จะต้องรู้ถึงลักษณะการทำงานและหน้าที่ที่ใช้งานก่อนจึงจะสามารถออกแบบได้ และ โครงสร้างนี้จะออกแบบเป็นแขน 3 ท่อน เพื่อที่จะสามารถทำงานในมุมหรือระดับที่แตกต่างกันได้ดี ยกตัวอย่างเช่น การตัดหญ้าในที่ต่างระดับมีมุมเอียง การตัดหญ้าตามไหล่ถนนห้องร่องสวน และยังสามารถตัดในมุมสูงได้ ตัดแต่งกิ่งหรือฟุ้งไม้

3.2 แนวทางการเคลื่อนที่ของแขน

การออกแบบแขน จะต้องกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนขึ้นมาเพื่อให้แขนสามารถทำงานตามความมุ่งหมายได้ และแนวทางการเคลื่อนที่ที่กำหนดขึ้นนี้จะต้องพิจารณาแล้วว่า เมื่อสร้างขึ้นมาแล้วสามารถทำงานได้จริง โดยโครงสร้างนี้ได้กำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ของแขน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนต่างๆ

3.3 การควบคุมส่วนต่างๆของโครงสร้าง

แกนที่หนึ่ง จะติดตั้งทางด้านปลายสุดทำหน้าที่ยึดมอเตอร์ 2 ตัว มอเตอร์นี้จะทำหน้าที่เป็นหัวตัด แกนชิ้นนี้จะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ทกรอบและ gear block มอเตอร์ทกรอบและ gear block จะทำหน้าที่รับแรงและทำให้แกนที่หนึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลง

แกนที่สอง จะติดตั้งอยู่ตรงกลางของโครงสร้าง ด้านหนึ่งจะยึดกับแกนที่หนึ่ง ส่วนอีกด้านจะยึดกับแกนที่สาม ทางด้านนี้แกนจะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ทกรอบและ gear block มอเตอร์ทกรอบและ gear block จะทำหน้าที่รับแรงและทำให้ชิ้นที่สองเคลื่อนที่ขึ้นลง

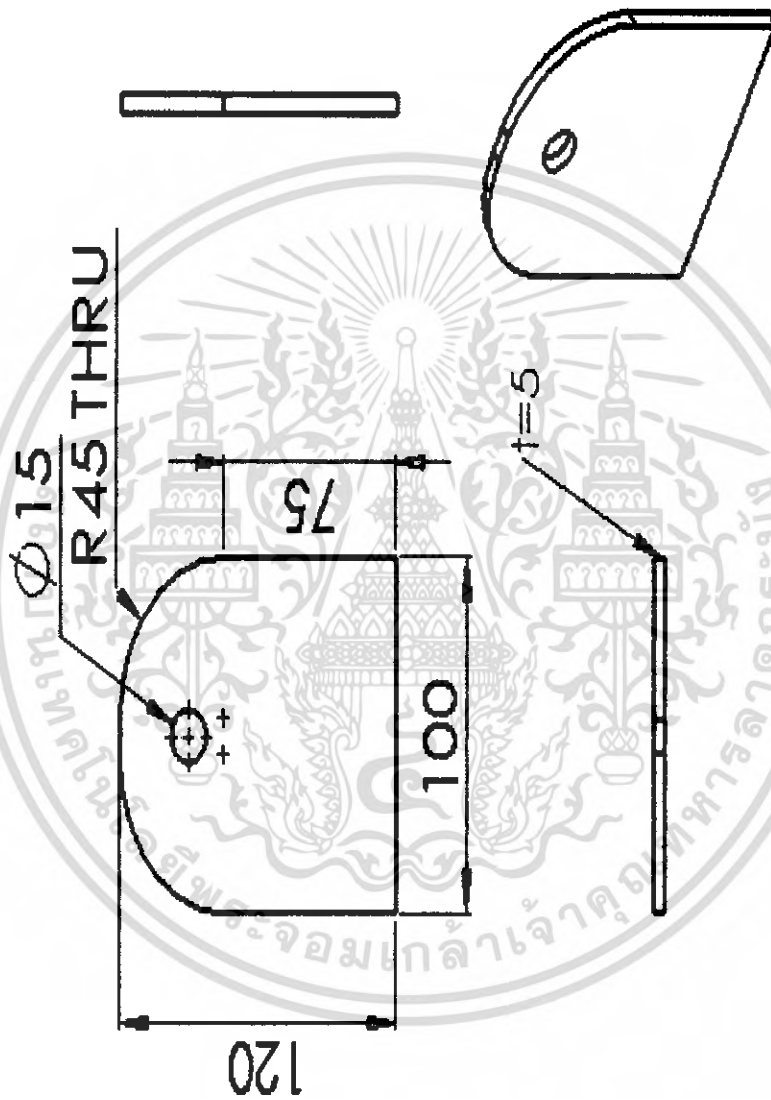
แกนที่สาม ติดตั้งอยู่ทางด้านท้ายสุด ด้านหนึ่งจะยึดกับแกนที่สอง ส่วนอีกด้านหนึ่งจะยึดกับฐานที่ยึดกับตัวรถมคตะนอย แกนที่สามนี้จะเคลื่อนที่ได้โดย มอเตอร์ทกรอบและ gear block มอเตอร์และ gear block จะขับเคลื่อนที่ยึดติดกับตัวรถมคตะนอยอีกทางด้านหนึ่งของตัวรถมคตะนอยจะยึดกับด้านปลายของแกนที่สาม เมื่อมอเตอร์และ gear block หมุนเพลาจะหมุนแล้วจึงตัวรถมคตะนอยทำให้แกนที่สามเคลื่อนที่ขึ้นลง

3.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเซนเซอร์เรเตอร์

เนื่องจากในการออกแบบมีการใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 V และ 24V โดยมีแหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่ขนาด 12V 2 ลูก จึงจำเป็นต้องมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเซนเซอร์เรเตอร์ เพื่อทำการชาร์จไฟให้กับแหล่งจ่าย การติดตั้งจะติดตั้งไว้ที่ด้านหน้าของรถมคตะนอย และรับกำลังจากเครื่องยนต์ รับกำลังโดยผ่านมุ่เลี้ยวและสายพาน

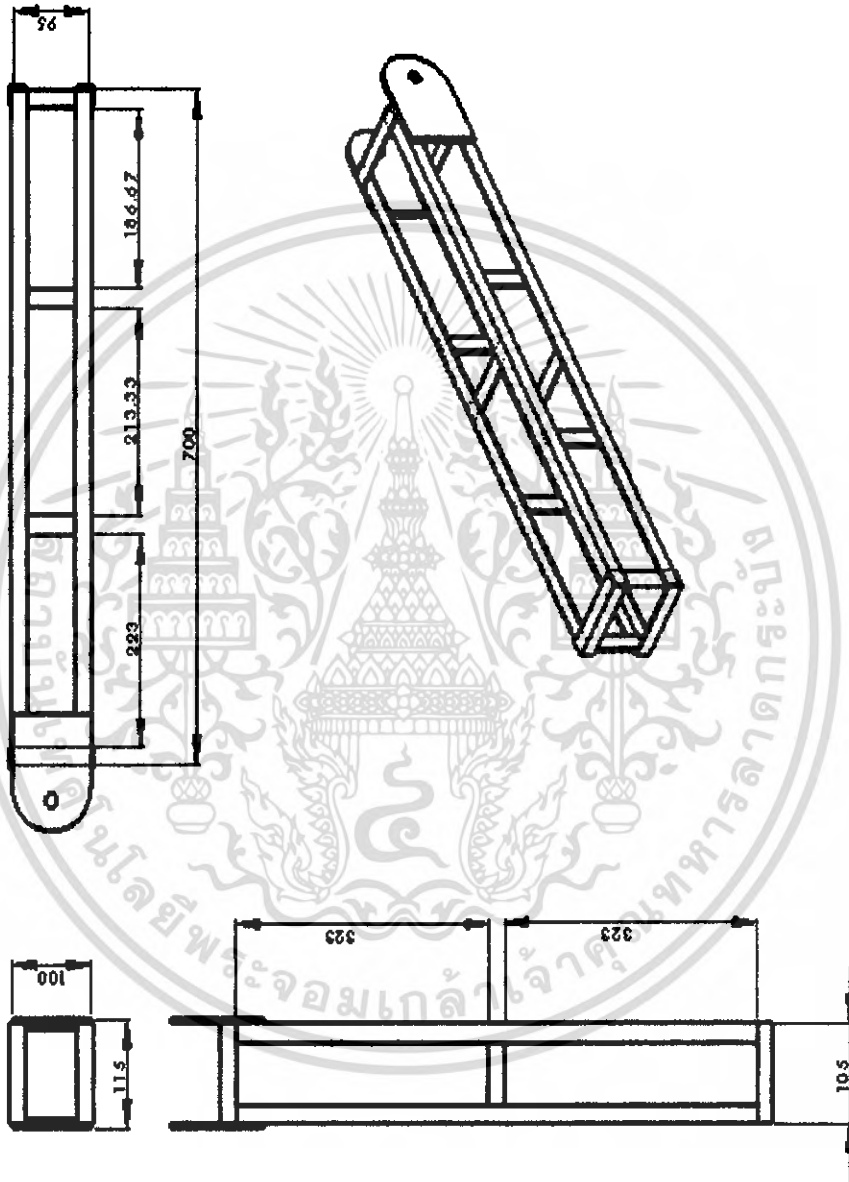
3.5 การกำหนดขนาดโครงสร้าง

ขนาดของแกนและส่วนประกอบทั้งหมดของโครงสร้าง



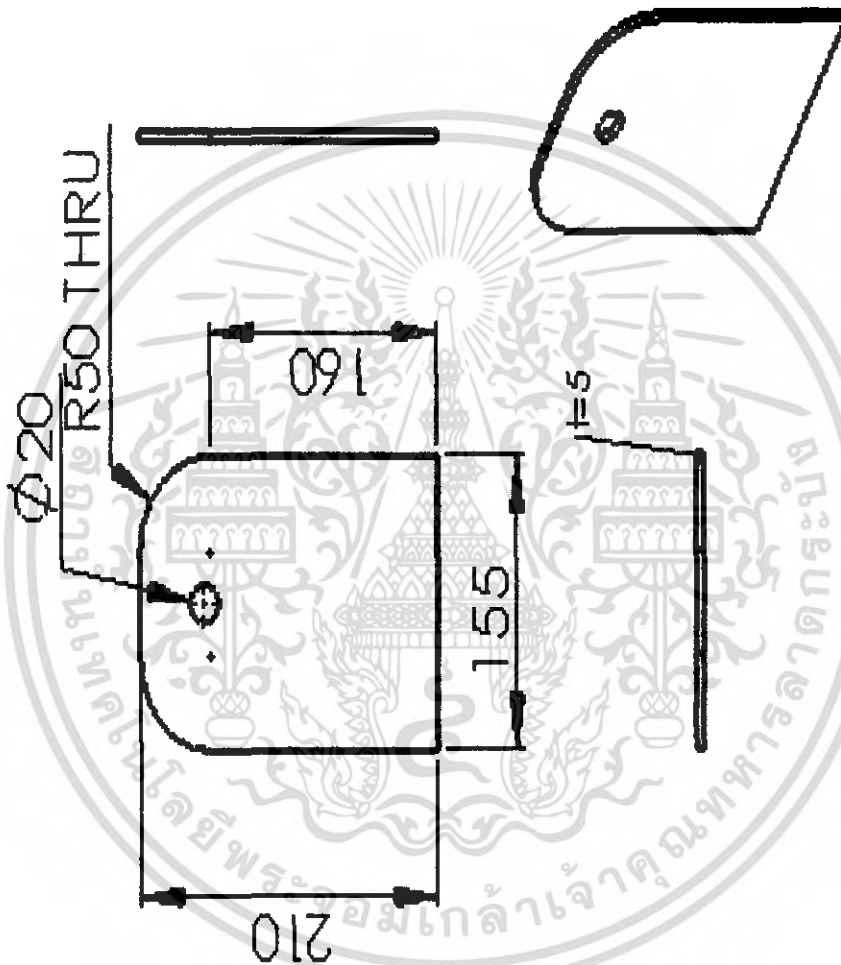
รูปที่ 3.2 ขนาดของแผ่นซีมเตอร์และแกนที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



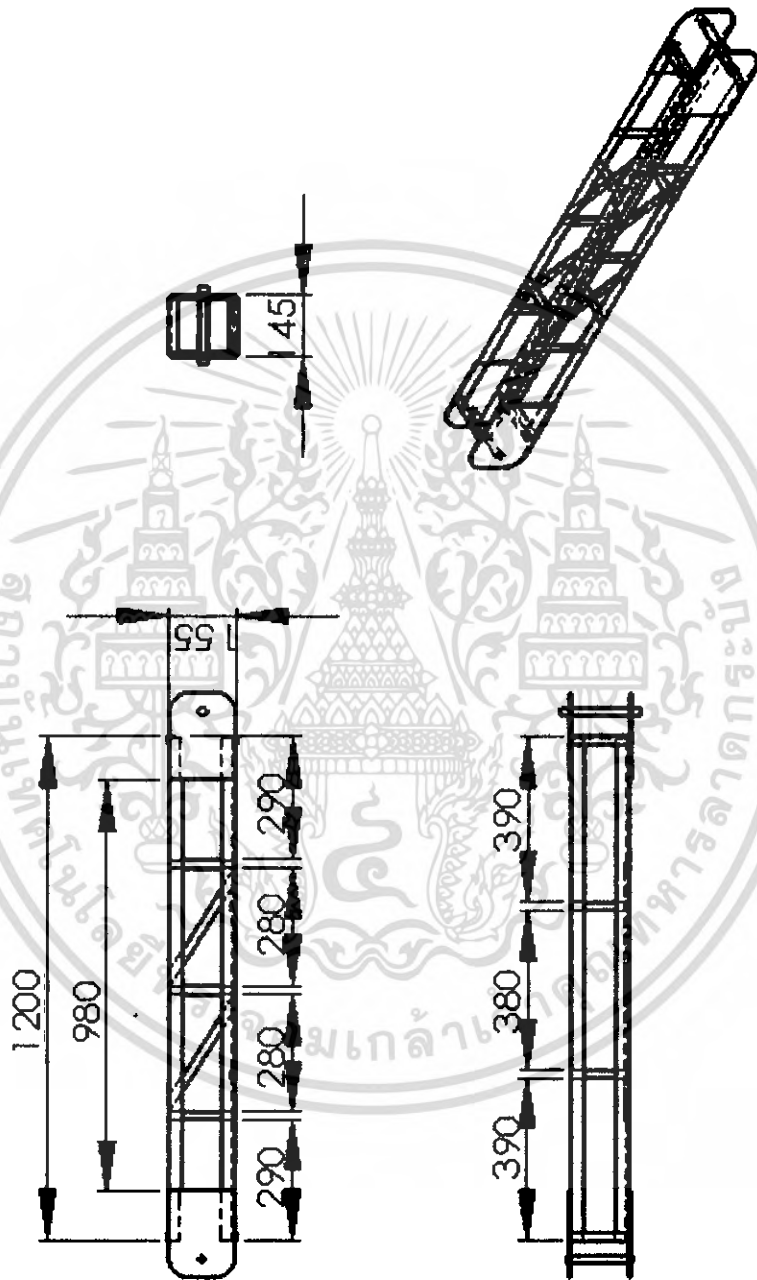
รูปที่ 3.3 ขนาดของแขนที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



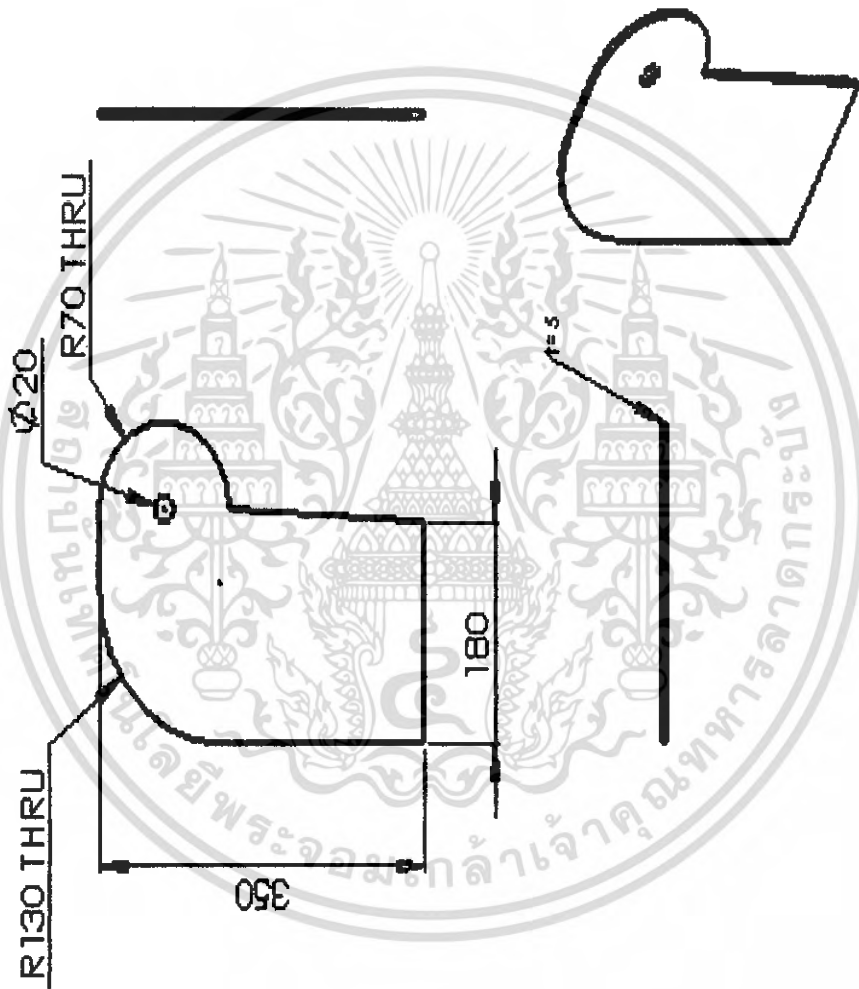
รูปที่ 3.4 ขนาดของแผ่นซีเมนต์ที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



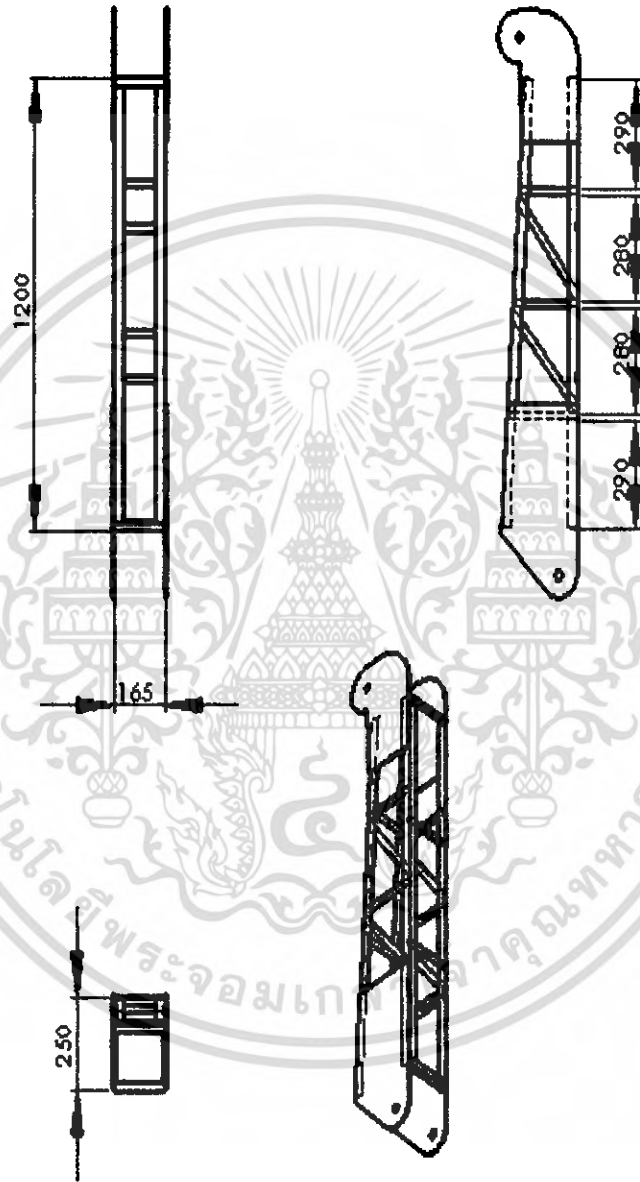
รูปที่ 3.5 ขนาดของแกนที่ล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



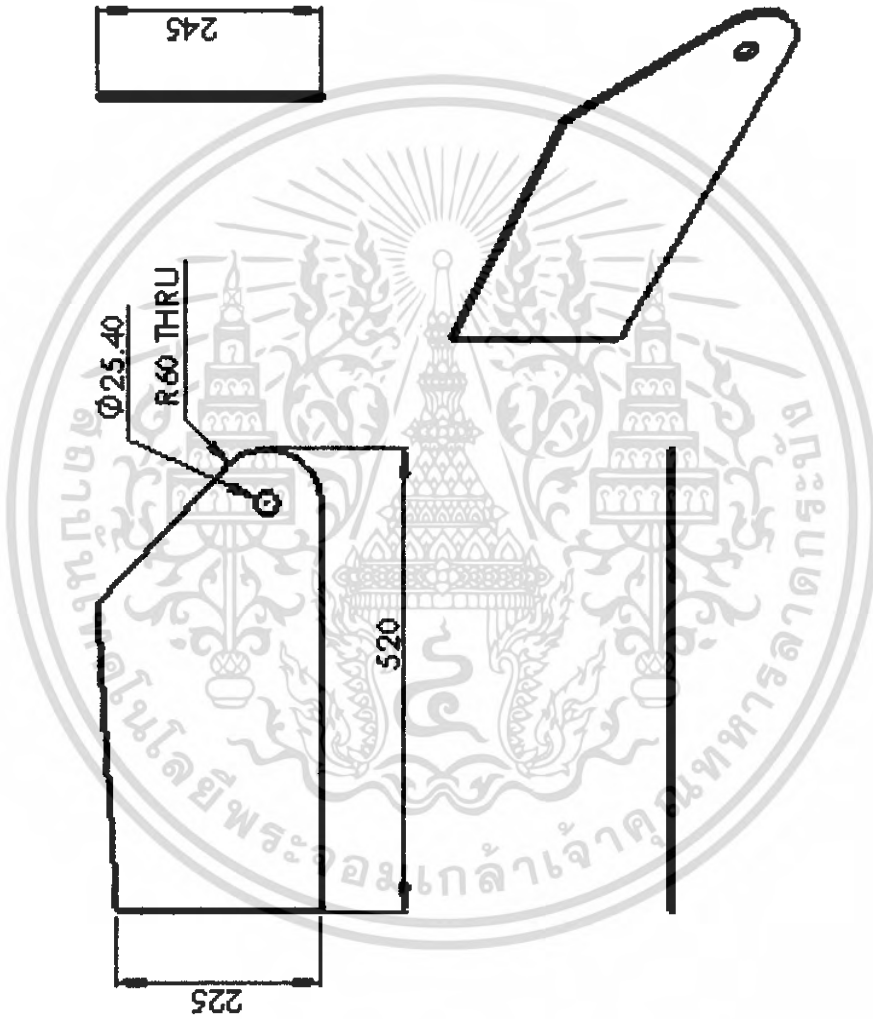
รูปที่ 3.6 ขนาดของแผ่นยึดมอเตอร์และแกนที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



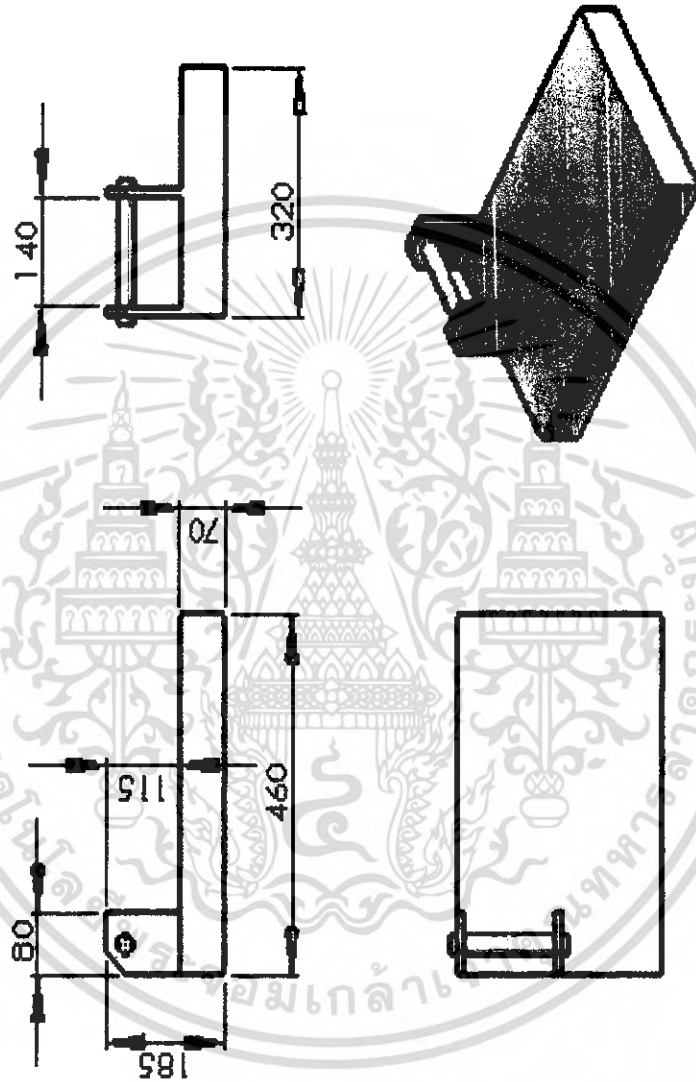
รูปที่ 3.7 ขนาดของเบมที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



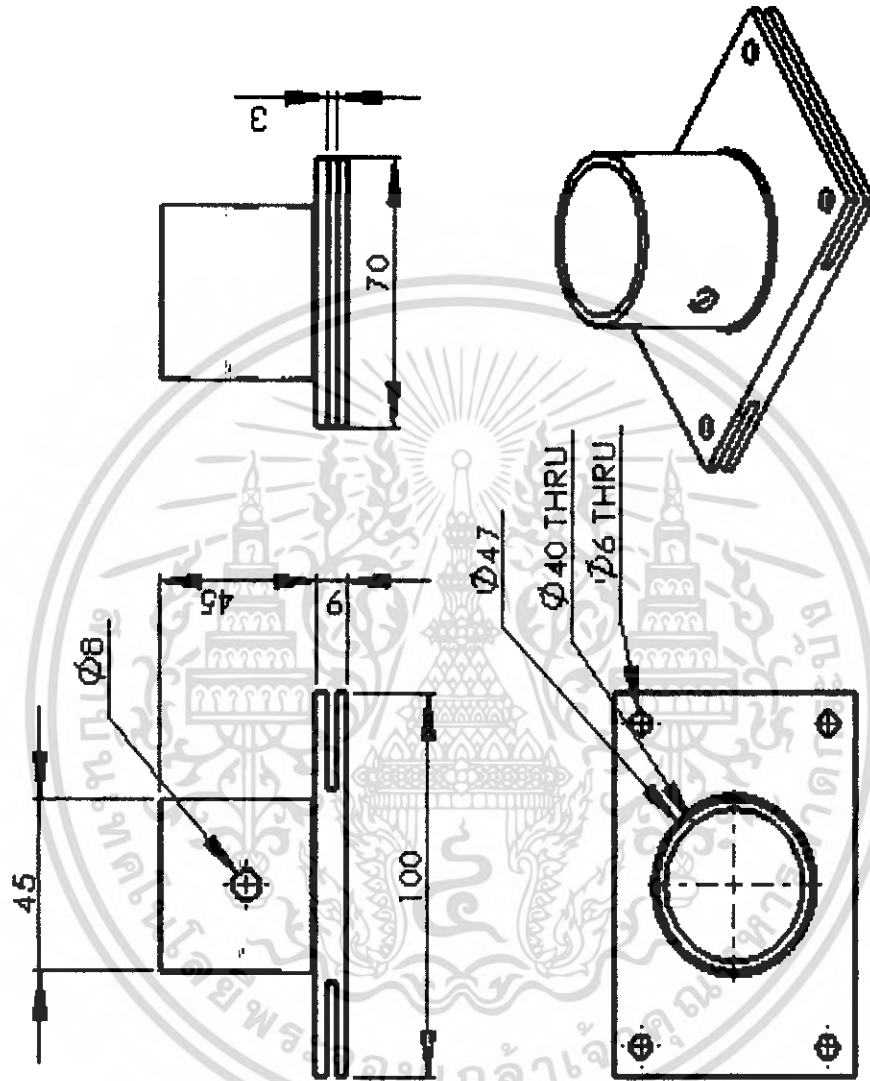
รูปที่ 3.8 ขนาดของแผ่นขันที่สามด้านติดกับฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



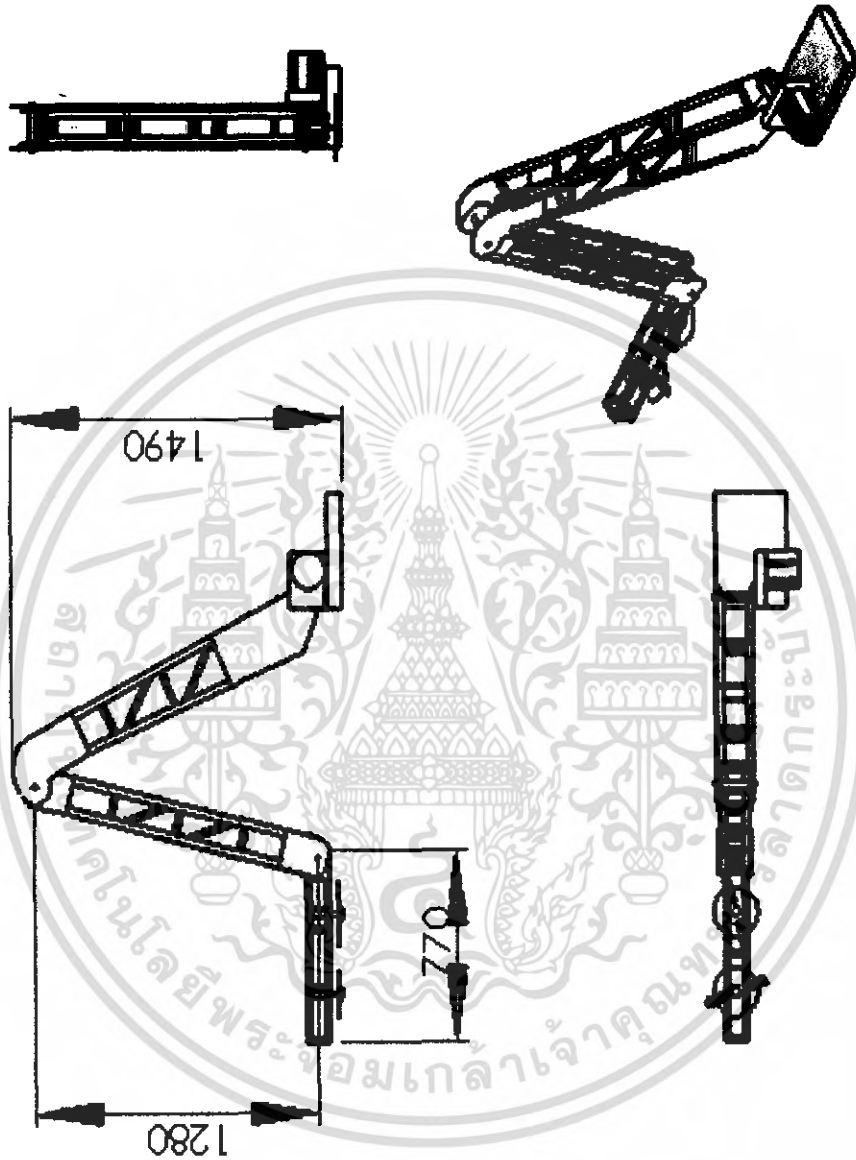
รูปที่ 3.9 ขนาดของฐานที่ติดกับตัวรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ขนาดของตัดยึดมอเตอร์หัวตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

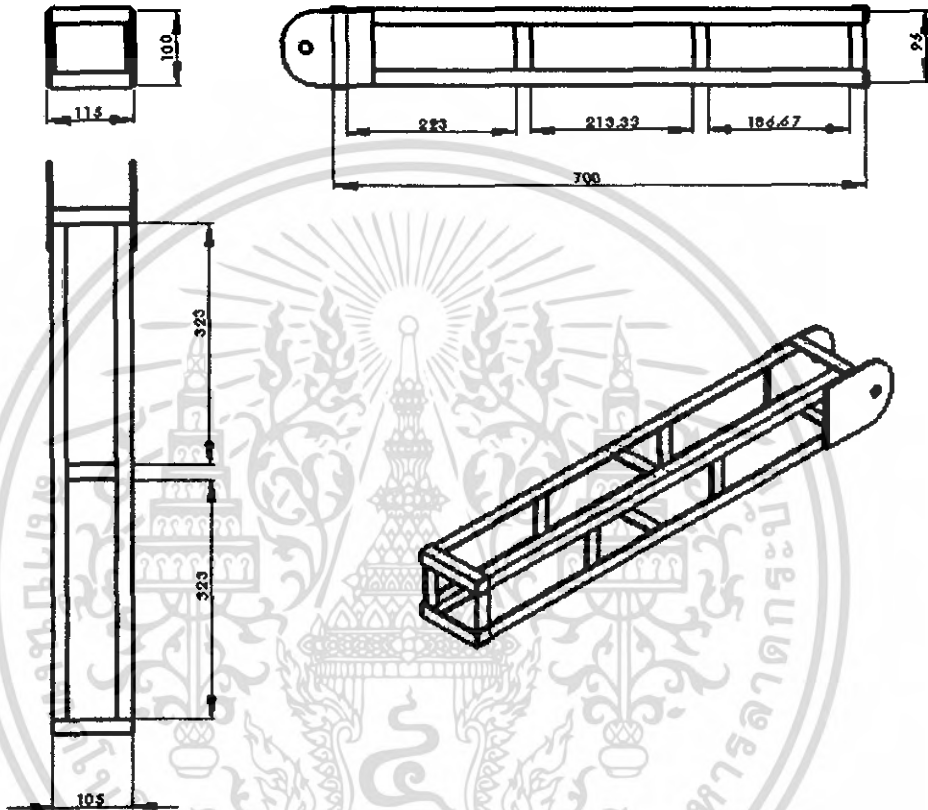


รูปที่ 3.1.1 ขนาดและภาพเมื่อประกอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การคำนวณ

การคำนวณหาจุดเซนทรอยด์ในแกนแต่ละแกน
แกนที่หนึ่ง



จากสมการ

$$x = \frac{\sum xA}{A_1}$$

$$\begin{aligned} \sum xA &= (0.395)(0.79 * 0.02) + (0.32 + \frac{0.0254}{2})(0.05 * 0.0254) \\ &\quad + (0.32 + 0.0254 + 0.2 + \frac{0.0254}{2})(0.05 * 0.0254) \\ &\quad + (0.395)(0.79 * 0.02)^2 \\ &= 0.0136m^2 \\ A_1 &= (0.79 * 0.02) * 2 + (0.05 * 0.0254) * 2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.034$$

$$\therefore \bar{x} = \frac{\sum xA}{A_t}$$

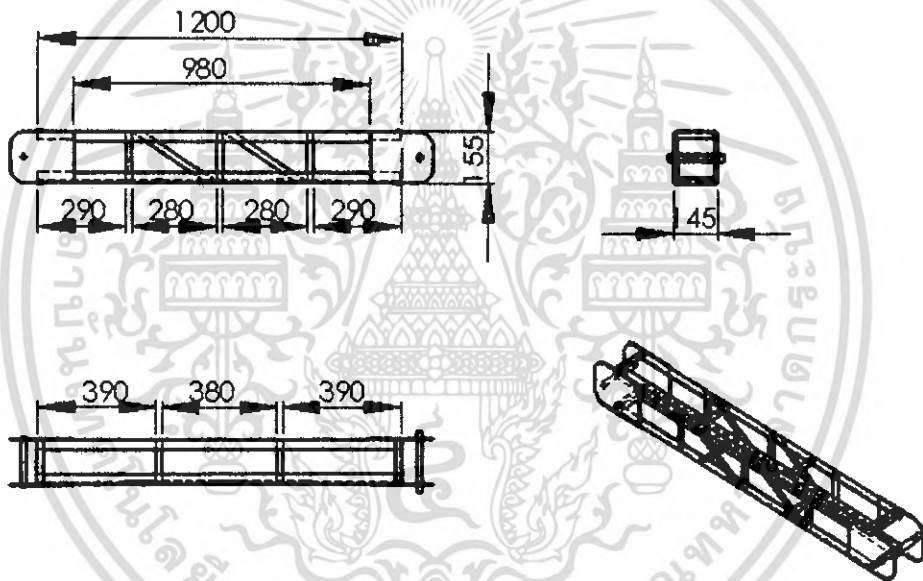
$$= 0.398m$$

$$\bar{y} = \frac{\sum xm}{m_t}$$

$$= \frac{(0.025)(m_a) + (0.398)(m_b)}{1.2}$$

$$\therefore \bar{y} = 0.047m$$

แขนที่สอง



รูปสมมาตร

$$\bar{x} = \frac{1.4}{2}$$

$$= 0.7$$

$$\bar{y} = \frac{0.155}{2}$$

$$= 0.077$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาขนาดขนาดเพลลา โดยใช้การออกแบบของASME

$$T_1 = [(1.5)(0,336)+1.2(0.2+0.4+0.6)]g$$

$$= 19.44 N.m$$

$$= 19440 N.mm$$

$$C_m = 1.5 , C_f = 1.5$$

$$\tau_d = 55 N/mm^2$$

form

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_d} [(C_f T)^2 + (C_m M_B)^2] \frac{1}{2}$$

$$= \frac{16}{\pi (55)} [(1.5 * 19440)^2 + (1.5 * 250.155)^2] \frac{1}{2}$$

$$\therefore d = 13.925 mm$$

เลือกใช้เพลลาที่มีขนาด 14mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

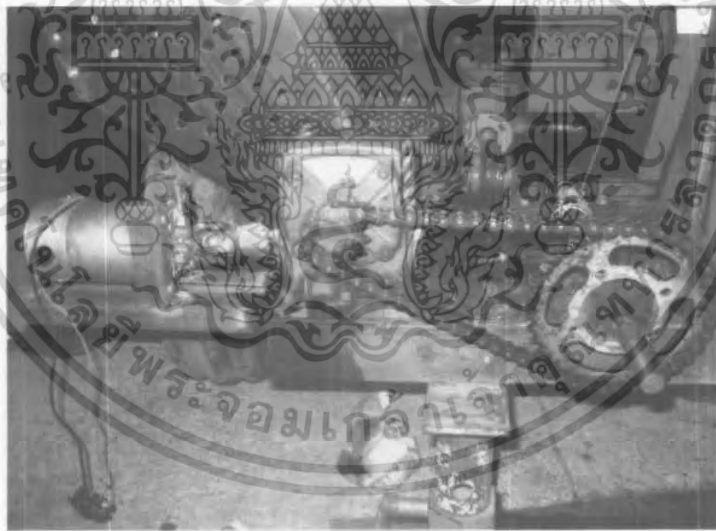
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของแขนต่างๆ โดยทำการป้อนไฟเข้าที่มอเตอร์แต่ละตัวแล้วทำการวัดความเร็วรอบตรวจสอบการเคลื่อนที่ และมุมมากที่สุดน้อยสุดของแขนแต่ละแขน การทดสอบต่างๆ จะมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การทดสอบความเร็วรอบ

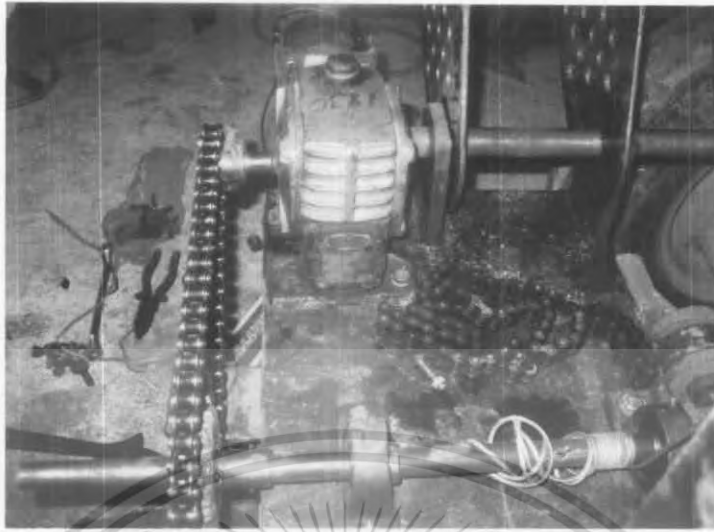
4.1.1 แขนที่สามด้านท้ายสุด

ป้อนไฟเข้ามอเตอร์ขนาด	12	V
วัดความเร็วรอบได้	1500	รอบ/นาที
Gear block มีอัตราทด 1:30	50	รอบ/นาที
ชุดโซ่มีอัตราทด 1:3	16.66	รอบ/นาที
เพลลาหมุน	16.66	รอบ/นาที



รูปที่ 4.1 แสดงการส่งกำลังของแขนที่สามกับฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงการส่งกำลังของแกนที่สามกับฐาน

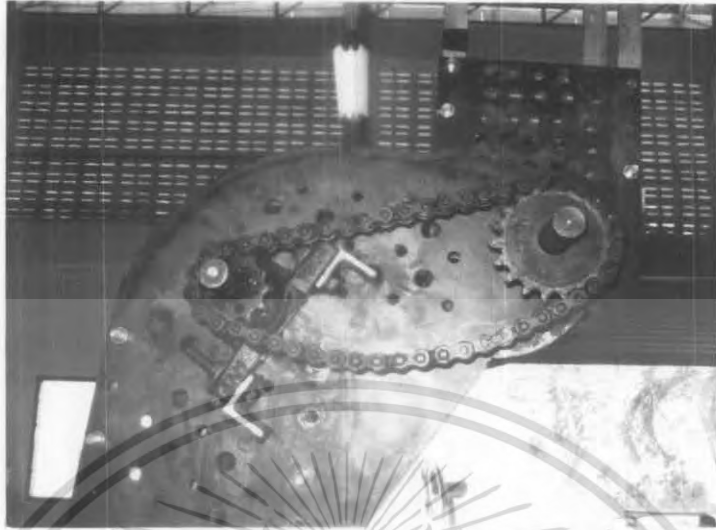
4.1.2 แกนที่สองตรงกลาง

ป้อนไฟเข้ามอเตอร์ขนาด	12	V	
วัดความเร็วรอบได้	40	รอบ/นาที	
Gear block มีอัตราทด 1:30	1.3	รอบ/นาที	
ชุดโซ่มีอัตราทด 1:1.5	0.86	รอบ/นาที	
เพลาลูกหมุน	0.86	รอบ/นาที	



รูปที่ 4.3 แสดงการส่งกำลังของแกนที่สองกับแกนที่สาม

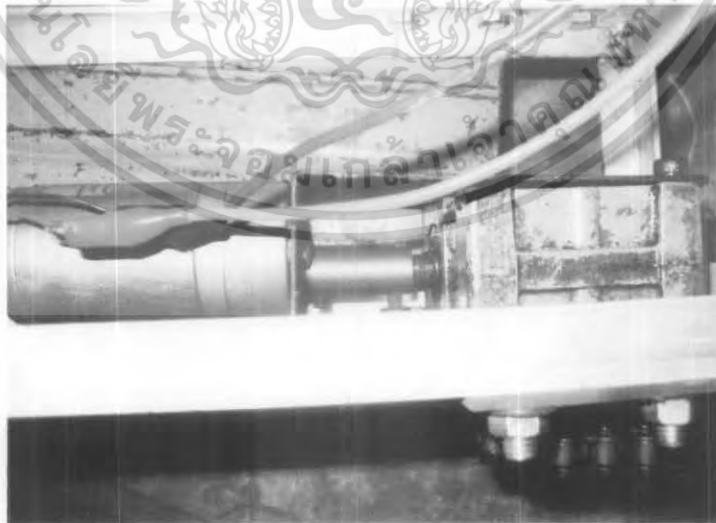
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการส่งกำลังของแกนที่สองกับแกนที่สาม

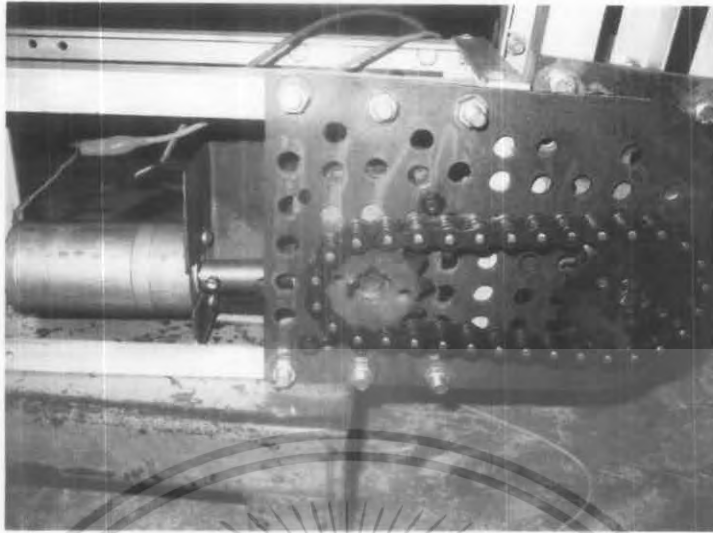
4.1.3 แกนที่หนึ่งด้านปลายสุด

ป้อนไฟเข้ามอเตอร์ขนาด	12	V
วัดความเร็วรอบได้	90	รอบ/นาที
Gear block มีอัตราทด 1:30	3	รอบ/นาที
ชุดโซ่มีอัตราทด 1:1.3	2.30	รอบ/นาที
เพลาลูกหมุน	2.30	รอบ/นาที



รูปที่ 4.5 แสดงการส่งกำลังของแกนที่หนึ่งกับแกนที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการตั้งกำลังของเขนที่หนึ่งกับแขนที่สอง

4.1.4 มอเตอร์ชุดหัวตัด

ป้อนไฟเข้ามอเตอร์ขนาด

24 V

วัดความเร็วรอบได้

6000

รอบ/นาที



รูปที่ 4.7 แสดงมอเตอร์ชุดหัวตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่และมุมมากสุดน้อยสุดของแขนแต่ละแขน

4.2.1 แขนที่สามด้านท้ายสุด ทำการป้อนไฟเข้ามอเตอร์เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ จากนั้นทำการวัดมุมเมื่อเทียบกับแนวระนาบ

เริ่มต้นแขนทำมุมกับแนวระนาบเป็นมุม 0° องศา

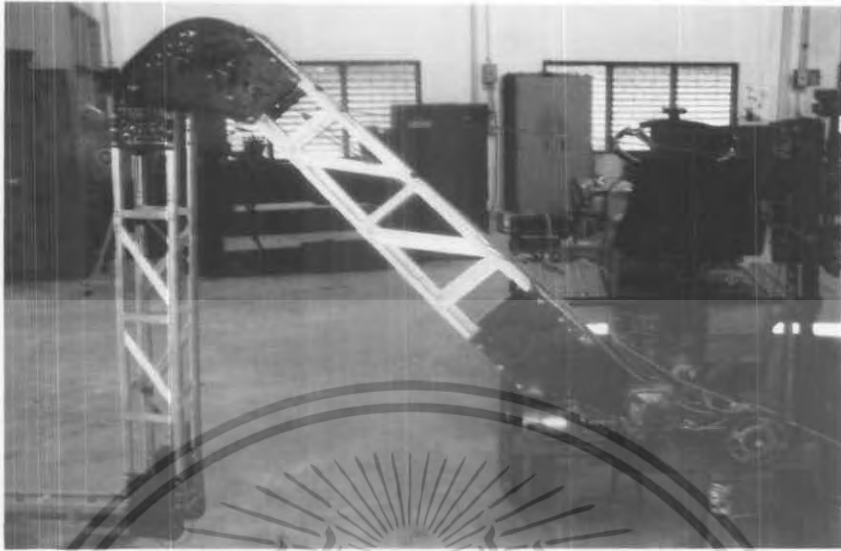
แขนสามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุดเป็นมุม 90° องศา

เพราะฉะนั้นแขนสามารถเคลื่อนที่เป็นมุมมากที่สุดคือ 90° องศา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.9 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สาม



รูปที่ 4.11 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 แขนที่สองตรงกลาง ทำการป้อนไฟเข้ามอเตอร์เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ จากนั้นทำการวัดมุมเมื่อเทียบกับแนวระนาบ

เริ่มต้นแขนทำมุมกับแนวระนาบเป็นมุม 0° องศา

แขนสามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุดเป็นมุม 180° องศา

เพราะฉะนั้นแขนสามารถเคลื่อนที่เป็นมุมมากที่สุดคือ 180° องศา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.12 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง

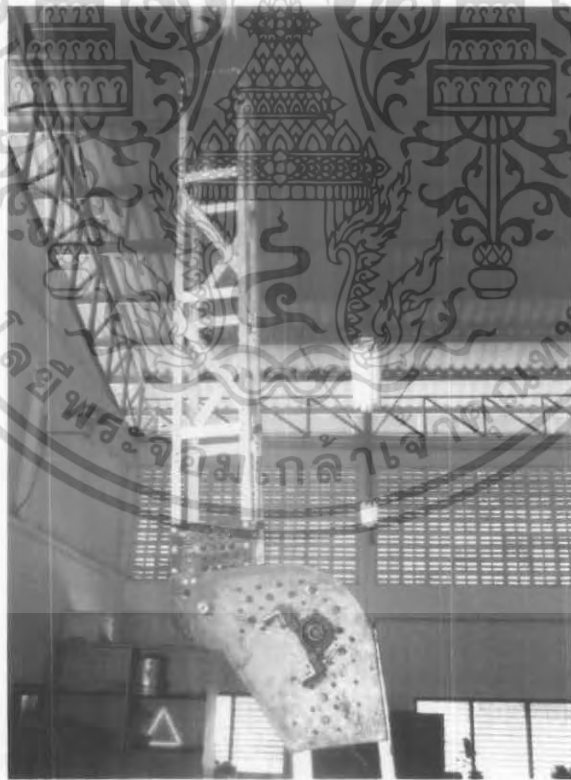


รูปที่ 4.13 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงมุมมองการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง



รูปที่ 4.15 แสดงมุมมองการเคลื่อนที่ของแขนที่สอง

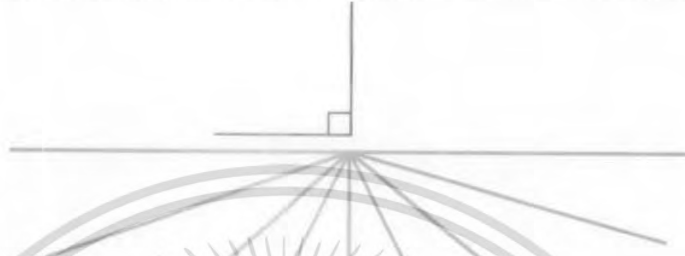
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 แขนที่หนึ่งด้านปลายสุด ทำการป้อนไฟเข้ามอเตอร์เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ จากนั้นทำการวัดมุมเมื่อเทียบกับแนวระนาบ

เริ่มต้นแขนทำมุมกับแนวระนาบเป็นมุม 0° องศา

แขนสามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุดเป็นมุม 180° องศา

เพราะฉะนั้นแขนสามารถเคลื่อนที่เป็นมุมมากที่สุดคือ 180° องศา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป

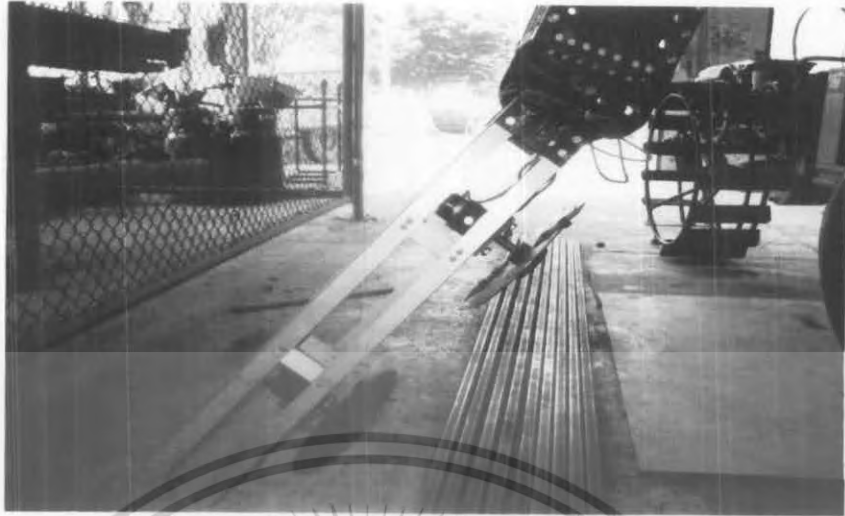


รูปที่ 4.16 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง



รูปที่ 4.17 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงมุมมองการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง



รูปที่ 4.19 แสดงมุมมองการเคลื่อนที่ของแขนที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการตัดในแบบต่างๆ

4.3.1 การทดสอบการตัดในแนวระนาบ

เป็นการตัดหญ้าในแนวราบที่เครื่องตัดหญ้าทั่วไปไม่สามารถเข้าตัดได้ถึง หรือต้อง
ใช้เวลานานในการตัด เช่น ใต้ต้นไม้ ท้องร่องสวน



รูปที่ 4.20 แสดงการตัดในแนวระนาบ

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองการตัดในแนวราบ

จำนวนครั้ง	พื้นที่(ม ²)	เวลาที่ใช้(s)
1	1	50
2	1	49
3	1	51
4	1	53
5	1	48
	เฉลี่ย	50.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 หาประสิทธิภาพในการตัด

พื้นที่ที่ทำการตัด	1 m ³
หญ้าที่เหลือจากการตัด	0.13 m ³
จากสูตร ในการหาประสิทธิภาพจะได้	

$$\frac{1-0.13}{1} * 100 = 87\%$$

ประสิทธิภาพในการตัดคือ 87%

4.3.3 การทดสอบการตัดแบบมีมุมเอียง

เป็นการตัดหญ้าในพื้นที่ที่มีมุมเอียงหรือต่างระดับ เครื่องตัดหญ้าทั่วไปตัดได้ราบาก และใช้เวลานานในการตัด แต่เครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut สามารถตัดได้เพราะสามารถปรับมุมในการตัดได้มากถึง 180 องศา จึงง่ายในการตัด



รูปที่ 4.21 แสดงการตัดแบบมีมุมเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองการตัดแบบมีมุมเอียง

จำนวนครั้ง	พื้นที่(m ²)	เวลาที่ใช้(ส)
1	1	55
2	1	57
3	1	59
4	1	56
5	1	59
	เฉลี่ย	57.2

4.3.4 หาประสิทธิภาพในการตัด

พื้นที่ที่ทำการตัด 1 m³
 หญ้าที่เหลือจากการตัด 0.20 m³
 จากสูตรในการหาประสิทธิภาพจะได้

$$\frac{1-0.20}{1} * 100 = 80\%$$

ประสิทธิภาพในการตัดคือ 80%

4.3.5 การทดสอบการตัดแต่งกิ่งไม้

เป็นการตัดกิ่งไม้หรือใบไม้ที่มีความสูงทำให้รบกวนในการตัด หรือต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการตัดเช่น บันได หรือรถกระเช้า แต่ถ้าเป็นเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut สามารถตัดได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ใดช่วย เพราะเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut นี้สามารถยัดได้สูงประมาณ 2.50-3.0 เมตรทำให้ง่ายที่จะตัดกิ่งไม้ หรือใบไม้ในที่สูง



รูปที่ 4.22 แสดงการตัดแต่งกิ่งไม้

4.3.6 การทดสอบการตัดแต่งพุ่มไม้

เป็นการตัดพุ่มไม้ที่มีแนวทางในการตัดเป็นแบบระนาบ สม่ำเสมอกับตลอดแนว หรือตัดพุ่มไม้เป็นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่น ดินเข้มน หรือต้นไม้ที่เป็นพุ่ม



รูปที่ 4.23 แสดงการตัดแต่งกิ่งไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองการตัดแต่งท่มไม้

จำนวนครั้ง	พื้นที่(m ³)	เวลาที่ใช้(ส)
1	1	42
2	1	44
3	1	40
4	1	42
5	1	41
	เฉลี่ย	41.8

4.3.7 หาประสิทธิภาพในการตัด

พื้นที่ที่ทำการตัด 1 m³หญ้าที่เหลือจากการตัด 0.16 m³

จากสูตร ในการหาประสิทธิภาพจะได้

$$\frac{1 - 0.16}{1} * 100 = 84\%$$

ประสิทธิภาพในการตัดคือ 84%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผล

โครงการเครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเครื่องทุ่นแรงซึ่งได้มีการออกแบบโดยศึกษาแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนในรูปแบบที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด จากการศึกษาจะพบว่าพื้นที่ที่เป็นมุมเอียงจะเป็นพื้นที่ที่เครื่องตัดหญ้าทั่วไปทำงานได้ลำบาก หรือเป็นที่ลุ่มมีน้ำขัง เครื่องตัดหญ้าแบบ High Cut สามารถขึ้นแขนออกไปตัดได้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแนวการเคลื่อนที่ของแขนประกอบด้วย D.C มอเตอร์ การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมต่างๆแสดงดังรูป



รูปที่ 5.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

จากรูปจะเห็นว่าอุปกรณ์ที่ใช้เป็นระบบไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ลูก ต่ออนุกรม เพื่อให้ได้ 24 โวลต์ ใช้เจนเนอเรเตอร์เป็นตัวผลิตไฟฟ้านำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่

จากการทดลอง บทที่ 4 เมื่อป้อนกระแสไฟเข้าไปทำการทดลองขั้วมอเตอร์ตามส่วนต่างๆ สามารถปรับมุมขึ้นลงในแนวตั้งส่วนปลายปรับได้ 180 องศา ส่วนกลางสามารถยกได้ 180 องศา ส่วนล่างยกได้ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่พบการเคลื่อนที่ของรถไดนาโมรุ่นมคตะนอยไม่สัมพันธ์กับความเร็วที่ทำการตัดได้
วิธีการแก้ไขโดยการทำให้รถไถเคลื่อนที่ช้าลง หรือ นำไปติดกับรถที่ทำขึ้นมาโดยเฉพาะ ตัว
โครงสร้างทำด้วยอลูมิเนียมจึงทำให้มีความแข็งแรงน้อยเกินไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.มงคล กวางวโรภาส, เครื่องทูนแรงในฟาร์ม, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์นลิน.
2. ผศ. จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์ 2544 เครื่องจักรกลเกษตร 2 กรุงเทพมหานครฯ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. บุญธรรม ภัทราจารุกุล 2544 เทคโนโลยี ไฟฟ้ารถยนต์ กรุงเทพมหานครฯ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
4. ศ.ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, รศ. ชาญ ถนังงาน 2545 การออกแบบเครื่องกล MACHINE DESIGN เล่ม 1 .กรุงเทพมหานครฯ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
5. มณฑล ใจกุศล, พงษ์ศักดิ์ ชินนาบุญ, วีระชัย ถิมพรชัยเจริญ 2546 กศศาสตรวิศวกรรม ภาคสัตยศาสตร์. กรุงเทพมหานครฯ บริษัทวิทย์พัฒน์ จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้