

การพัฒนาชุดสางใบและระบบส่งกำลังในเครื่องตัดอ้อยสดแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์  
Development of Leaf Pruning Module and Power Transmission System of  
Tractor- mounted Sugarcane Harvester



วิศวะ จักรกมลจันทร์  
WISAWA JUKGOLJUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2567  
KMITL-2024-EN-M-037-289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Leaf Pruning Module and Power Transmission System of  
Tractor-mounted Sugarcane Harvester



A THESIS REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2024  
KMITL-2024-EN-M-037-289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2024**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดสางใบและระบบส่งกำลังในเครื่องตัดอ้อยสดแบบพวงท้ายรถแทรกเตอร์
นักศึกษา	นายวิศวะ จักรกลจันทร์
รหัสประจำตัว	64601132
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ณัฐวุฒิ เตไพบว

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ออกแบบและพัฒนา และวิเคราะห์ความเสียหาย โครงสร้างและกลไก ของเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยชุมชน หัววัสดุที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการสางใบอ้อย ให้ตรงตามความต้องการของเกษตรกร ปัจจุบันรถตัดอ้อยนั้นมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ส่วนใหญ่นิยมเก็บเกี่ยวอ้อยโดยการเผาใบก่อนตัด ก่อให้เกิดมลพิษ จึงเริ่มต้นออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดอ้อยแบบตัดทั้งต้น สามารถสางใบออกได้ในตัวที่มีต้นกำลังมาจากเพลอาำนวยกำลังเพียงอย่างเดียว เริ่มต้นจากออกแบบโครงสร้างของเครื่องและระบบส่งกำลัง โดยใช้แรงที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจนได้เป็นเครื่องต้นแบบ เลือกว่าวัสดุที่ใช้ในการทดลองสางใบที่หาซื้อได้ง่าย พิจารณาจากวัสดุที่เหมาะสมกับความเร็วรอบของการสางใบคือ 1400 รอบต่อนาที จากการทดสอบวัสดุสางใบ ผู้จัดทำได้วิเคราะห์คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับผลการทดลอง สรุปได้ว่าการหาวัสดุต่อไปควรพิจารณาคุณสมบัติดังนี้ ค่า Tensile มากกว่า 3700 psi และ Shear strength 10000 psi เพื่อไม่ให้วัสดุขาดขณะหมุนและสางใบ, ควรมีค่า Hardness ต่ำกว่า Rockwell M110 วัสดุจะไม่ทำให้ต้นอ้อยเสียหาย และค่า Flexural Modulus of Elasticity ประมาณ 450,000 psi สามารถเชื่อมต่อได้กับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลัง 80 แรงม้าขึ้นไป โดยโครงสร้างทั้งหมดทำงานได้ทั้งระบบ โดยความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดของ Power take off shaft คือ 300 รอบต่อนาที ความเร็วรอบที่ใช้ในการตัดโคนตัดโคนเป็น 1150 รอบต่อนาที โดยใช้ใบมีดแบบสำเร็จ วัสดุที่ใช้ในการสางใบดีที่สุดที่รอบดังกล่าว คือ สายพานร่องA เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุมีความเหมาะสม ไม่แข็งจนเกินไปจนทำให้ต้นอ้อยเกิดความเสียหาย สามารถคืนรูปได้ และไม่พันกันขณะใช้งาน การปรับปรุงเครื่องทั้งหมด ทำให้ได้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้ถึง 50-70 ต้นต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Development of Leaf Pruning Module and Power Transmission System of Tractor-mounted Sugarcane Harvester
Student	Mr. Wisawa Jukgoljun
Student ID.	64601132
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2024
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Nattawoot Depaiwa

## ABSTRACT

For this project is to study, develop and calculate change of damage of structure and mechanism of sugarcane harvester, find the most suitable material for pruning leaf to fit farmer needs. Due to Thailand agricultural situation, mostly of harvester are imported and costly, farmers solve these problems by burning leaf harvest method which result in air pollution. Accordingly, our project is to research and develop sugarcane harvesters that able to remove excess leaves of sugarcane in one machine and one power source, PTO shaft. Starting from design structure in Solidworks program. calculate structure and power transmission system. After analyzing properties and experimental results, conclusion is when looking for materials, the following properties should be considered: Tensile and Shear strength should be more than 3700 psi 10000 psi, to prevent material from breaking apart when rotate and pruning. Hardness should be lower than Rockwell M110 to keep product in good condition and Flexural Modulus of Elasticity around 450,000 psi. The harvester can connect to any tractor with more than 80 horsepower The best condition of PTO shaft is 300 rpm and cone cutting shaft is 1150 rpm using ready-made blade. The best material for pruning is V-belt type A, due to the strength and ductileness of material are in suitable range, does not damage the product, return to its shape, and does not tangle. All the improvement leads to sugarcane harvesters that can harvest sugarcane 50-70 ton per day.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณา ดูแลช่วยเหลืออย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ เตไพบวา อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ท่านได้ให้คำปรึกษาการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนการตรวจสอบ แก้ไขการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณไว้อย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรจังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดอุดรธานี จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดสระบุรี และจังหวัด เพชรบูรณ์ ที่ทดลองใช้งานเครื่องตัดอ้อยที่สร้างขึ้นมาร่วมทั้งให้ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และ ขอขอบคุณ คุณระพี บุญบุตร กรรมการผู้จัดการ บริษัท อาทิตย์เวเนติเลเตอร์ จำกัด รวมทั้งผู้ช่วยในการจัดเก็บ ข้อมูลทุกท่าน ในการดำเนินการสร้างเครื่องตัดอ้อยขึ้นมา จนสามารถใช้งาน และมีประสิทธิภาพที่ดีตลอดจน สนับสนุนในการนำผลงานสิ่งประดิษฐ์ไปจัดแสดงในงาน Indonesia Inventors Day 2023 ณ เมืองบาห์ลี สาธารณรัฐอินโดนีเซีย หากขาดบุคคลเหล่านี้งานวิจัยอาจจะไม่สำเร็จ จึงขอขอบคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องกับ งานวิจัยนี้เป็นอย่างสูง

หากงานวิจัยนี้มีคุณค่าและก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆแก่บุคคลใดก็ตาม ขอมอบคุณงามความดีให้แก่ คณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้มาให้ บิดา มารดา ผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ และผู้มีอุปการะคุณทุก ท่านที่ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลงอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อ.....	IV
ABSTRACT.....	V
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
สารบัญรูป.....	XII
สารบัญรูป.....	XIII
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....	XIV
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....	XV
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	3
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวอ้อย.....	4
2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสางใบ.....	4
2.1.2 การเลือกใบมีด.....	5
2.1.3 แรงในการตัดอ้อย.....	5
2.1.4 แรงในการสางใบอ้อย.....	6
2.2 สมการที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.1 สมการที่ในการคำนวณเฟืองและโซ่.....	7
2.2.2 สมการที่ในการคำนวณเพลลา.....	7
2.2.3 สมการที่ในการคำนวณแบริ่ง.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3	คุณสมบัติวัสดุ.....	10
2.4	ระบบไฮดรอลิกส์.....	11
2.4.1	ปั๊มไฮดรอลิกส์.....	11
2.4.2	กระบอกสูบไฮดรอลิกส์.....	13
2.4.3	วาล์วไฮดรอลิกส์.....	15
2.4.4	มอเตอร์ไฮดรอลิกส์.....	16
2.4.5	ท่อส่งน้ำมันไฮดรอลิกส์ ท่อน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ.....	18
2.4.6	วงจรระบบไฮดรอลิกส์.....	19
2.4.7	ถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์.....	20
2.5	เฟืองและโซ่คัปปลิ่ง.....	20
2.5.1	เฟือง.....	20
2.5.2	โซ่กำลัง.....	21
2.6	ความเค้นและความเครียด.....	21
2.6.1	ความเค้น (Stresses).....	22
2.6.2	ความเครียด (Strain).....	24
2.6.3	ความยืดหยุ่น (Elasticity).....	25
2.6.4	ความเป็นพลาสติก (Plasticity).....	25
2.6.5	กฎของฮุก (Hook' Law).....	25
2.6.6	ค่าพิกัดความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity).....	26
2.6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด.....	26
2.7	ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	29
2.7.1	การแบ่งเอลิเมนต์ (meshing model).....	30
2.7.2	การกำหนดคุณสมบัติและพฤติกรรมวัสดุ.....	30
2.7.3	เงื่อนไขขอบเขต.....	31
2.7.4	ข้อจำกัดของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	31
	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	32
3.1	การออกแบบโครงสร้างและกลไก.....	33
3.1.1	การออกแบบเฟืองและโซ่.....	33
3.1.2	การออกแบบระบบไฮดรอลิกส์.....	40
3.2	การทดสอบเครื่องตัดอ้อย.....	55
3.2.1	การทดสอบความคงทนของเครื่องตัดอ้อย Endurance test.....	55
3.2.2	การทดสอบโดยการใช้งานจริง Field test.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดสอบวัสดุทางใบ.....	55
ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ผล .....	56
4.1 ผลการทดลอง.....	57
4.1.1 ผลการทดลองการเดินเครื่องเปล่า .....	57
4.1.2 ผลการทดสอบการทดลองเก็บเกี่ยวจริง.....	57
4.1.3 ผลการทดสอบวัสดุการทางใบ.....	58
4.1.5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าและจุดคุ้มทุน .....	59
4.2 การวิจารณ์และอภิปรายผล .....	62
สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย .....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	63
เอกสารอ้างอิง .....	64
ภาคผนวก ก.....	65
ก.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย.....	66
ก.1.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม .....	66
ก.1.2 โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ .....	67
ก.1.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ .....	67
ก.2 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ .....	69
ภาคผนวก ข.....	71
ภาคผนวก ค.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของการสาบในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น	5
2.2 ผลของขนาดของลำต้นอ้อยที่เกิดขึ้นกับแรงตัดเชิงกลในค่าระดับความชื้นต่างๆ	6
2.3 ค่า $k_f$ และ $k_{fs}$	7
2.4 ค่า $k_a$	8
2.5 ค่า $k_d$	9
2.6 ค่า $k_e$	9
2.7 ค่า Tensile Strength, Yield Strength และ Elongation ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบสาบ	11
2.8 การแบ่งประเภทของปมไฮดรอลิกส์	12
3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการสาบกับตำแหน่งของใบที่ความสูงต่างๆ	36
3.2 รายการวัสดุที่ใช้ในการทดลองสาบ	37
3.3 ค่า Major loss ในส่วนต่างๆของระบบ	50
3.4 ค่า Minor loss ในส่วนต่างๆของระบบ	50
3.5 ค่า Minor loss ในวาล์วต่างๆของระบบ	51
3.6 วงจรไฮดรอลิกส์ที่ใช้ในเครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสาบ	54
4.1 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขเมื่อทดลองเดินเครื่องเปล่า	60
4.2 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขเมื่อนำไปใช้งานจริง	60
4.3 ผลการทดสอบวัสดุสาบ	61
4.4 แสดงรายได้หลังหักค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวโดยเปรียบเทียบที่ 8 ไร่ ต่อวัน	64
4.5 แสดงต้นทุนรวมในการปลูกต้นอ้อยต่อไร่	65
4.6 เปรียบเทียบจำนวนไร่ในการปลูกและจุดคุ้มทุน	66
ก.1 Material Property ของวัสดุที่นำมาวิเคราะห์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและความสูงของต้นอ้อย	6
2.2 กระบอกสูบชนิดสองทิศทางก้านสูบเดียว	13
2.3 กระบอกสูบชนิดสองทิศทางแบบสองก้านสูบ	13
2.4 กระบอกสูบแบบ Tandem Cylinder	14
2.5 กระบอกสูบแบบ Duplex Cylinder	14
2.6 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง	15
2.7 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมความดัน	15
2.8 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมอัตราการไหล	16
2.9 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบเฟือง	16
2.10 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบลูกสูบ	17
2.11 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบใบพัด	17
2.12 ท่อน้ำมันไฮดรอลิกส์ประเภท Flexible hose	19
2.13 ถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์	20
2.14 ลักษณะของเฟืองและโซ่คลีปปีง	21
2.15 ภาพของแท่งเหล็กที่ถูกดึง	23
2.16 ภาพของแท่งเหล็กที่ถูกอัด	23
2.17 ภาพของแท่งเหล็กที่ถูกออกแรงเฉือน	24
2.18 ภาพลักษณะของความเครียดที่เกิดขึ้นจากการดึง	24
2.19 ภาพลักษณะของความเครียดที่เกิดขึ้นจากการอัด	25
2.20 ภาพลักษณะของความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเฉือน	25
2.21 แผนภาพการทดสอบแรงดึงของเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้าง	26
2.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุที่เป็นเหล็กหล่อ	27
2.23 ภาพแสดงการหาจุด Yield Point	28
2.24 10-node tetrahedral Element model	29
3.1 แบบจำลองเครื่องตัดอ้อยฟุ้งทำยรถแทรกเตอร์	33
3.2 แบบจำลองระบบส่งกำลัง	34
3.3 แบบจำลองระบบส่งกำลัง ของโมดูลสองใบ	36
3.4 สายพานลำเลียง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.5 แผนภาพ Free body diagram ของสายพานลำเลียง	40
3.6 แผนภาพ Free body diagram ของแกนมอเตอร์ถึงขอบเฟืองในส่วนลำเลียง	42
3.7 ระบายอากาศที่ใช้รับน้ำหนักกระบะ	45
3.8 แสดงขนาดของระบายอากาศที่ใช้รับน้ำหนักกระบะอ้อย	46
3.9 ถังพักน้ำมัน	52
3.10 ตัวกรองน้ำมัน ยี่ห้อ K-FLO รุ่น KH-591	52
3.11 pilot operated relief valve	52
3.12 Flow control valve	53
3.13 directional control valve	53
3.14 แสดงเครื่องที่ใช้วัดความเร็วรอบ	55
4.1 ภาพตัวเครื่องขณะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อย	56
ก.1 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย	66
ก.2 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย	67
ก.3 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย	67
ก.4 ลักษณะของเอลิเมนต์ของแต่ละ node	68
ก.5 รูปร่าง Mesh ของโครงสร้างเครื่องตัดอ้อย	68
ก.6 ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย	69
ก.7 ผลการวิเคราะห์ความเค้น Von mises	69
ก.8 ผลการวิเคราะห์ตัวประกอบความปลอดภัย	70
ก.9 ผลการวิเคราะห์การโก่งตัว	71
ข.1 แสดงการชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักร	73
ข.2 แสดงการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรเมื่อได้รับการซ่อมบำรุงรักษา	73
ข.3 การส่งถ่ายกำลังด้วยเพลลา	75
ข.4 การส่งถ่ายกำลังเฟืองตรงและโซ่	76
ข.5 การส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานและพูลเลย์	76
ข.6 การส่งถ่ายกำลังด้วยระบบไฮดรอลิกส์	77
ข.7 แสดงการประกอบชิ้นส่วนเพื่อส่งถ่ายกำลังงานหมุนในเครื่องจักรโดยใช้โซ่และสเตอร์	77
ข.8 แสดงหลักการคำนวณค่าอัตราทดของโซ่และสเตอร์	78
ข.9 แสดงขนาดของสายพานที่มีขายตามท้องตลาด	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
ข.10 แสดงการประกอบชิ้นส่วนเพื่อส่งถ่ายกำลังงานหมุนในเครื่องจักร	79
ข.11 แสดงสาเหตุของการสึกหรอของวัตถุ 2 ชนิดที่เสียดสีกัน	80
ข.12 แสดงตัวอย่างสารหล่อลื่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด	80
ข.13 แสดงหลักการนำสารหล่อลื่นไปยังชิ้นส่วนต่าง ๆ	81
ข.14 แสดงเกรดน้ำมันตามมาตรฐาน SAE	81
ข.15 แสดงจาระบีที่มีขายตามท้องตลาด	82
ข.16 แสดงค่าความเหนียวของจาระบีแต่ละเกรดที่มีใช้ในปัจจุบัน	82
ข.17 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดจาระบีเบื้องต้น	83
ข.18 แสดงการปรับตั้งค่าความขนาน (Alignment) ของพูลเลย์สายพานให้ถูกต้อง	84
ข.19 แสดงการปรับตั้งค่าความตึงของสายพานให้เหมาะสม	84
ข.20 แสดงการปรับระยะหย่อนของโซ่ สเตอร์ให้เหมาะสม	84
ค.1 แสดงเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่ยังไม่นำมาฟ่งทำยแตรกเตอร์	87
ค.2 แสดงเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่นำมาฟ่งทำยแตรกเตอร์	87
ค.3 แสดงเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่นำมาเก็บเกี่ยวในไร่จริง	88
ค.4 แสดงลักษณะต้นอ้อยที่ถูกเก็บเกี่ยว	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ชื่อ (ภาษาไทย)	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดภายในท่อ	in <sup>2</sup>
A <sub>C</sub>	พื้นที่กระบอกสูบ	in <sup>2</sup>
A <sub>Rod</sub>	พื้นที่ก้านสูบ	in <sup>2</sup>
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไฮดรอลิก	m
D <sub>c</sub>	ขนาดกระบอกสูบ	in
D <sub>Rod</sub>	ขนาดก้านสูบ	in
f	แรงเสียดทาน	N
F	ความถี่	Rev/s
F	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	
F	แรงดึงของโซ่ลำเลียง	N
F <sub>C</sub>	แรงที่ใช้งาน	lbs
g	ค่าความเร่งโน้มถ่วง	m/s <sup>2</sup>
ID	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ	in
K	สัมประสิทธิ์การสูญเสียในฟิตติ้งสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ	m
L	ความยาวท่อ	m
m <sub>t</sub>	มวลรวมของทั้งระบบ	kg
m <sub>k</sub>	มวลรวมของใบมีด	kg
n	จำนวนต้นอ้อยที่ตัดพร้อมกัน	-
N	จำนวนรอบ	rev
η <sub>o</sub>	ประสิทธิภาพโดยรวมของมอเตอร์	-
η <sub>v</sub>	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของมอเตอร์	-
η <sub>m</sub>	ประสิทธิภาพเชิงกลของมอเตอร์	-
p	กำลังที่ใช้ในการหมุน	W
P	ความดัน	Pa
P <sub>C</sub>	ความดันที่ใช้	psi
Q	อัตราการไหล	gpm
Q <sub>A</sub>	อัตราการไหลน้ำมันจริง	gpm
Q <sub>T</sub>	อัตราการไหลน้ำมันทางทฤษฎี	gpm
r	ความยาวรัศมี	m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

T	แรงบิด	N.m
T <sub>A</sub>	แรงบิดจริง	N.m
T <sub>T</sub>	แรงบิดจากมอเตอร์	N.m
v	ความเร็วในการไหลของน้ำมันภายในท่อ	Ft/sec
V	ความเร็ว	m/s
V <sub>D</sub>	ปริมาณการกวาดน้ำมันต่อรอบ	ln <sup>3</sup> /rev
θ	มุม	Degree, °
μ	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	-
ω	ความเร็วเชิงมุม	Rad/sec
Δh	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล	m
Δh <sub>m</sub>	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลในอุปกรณ์ต่างๆ	m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อ้อยเป็นผลผลิตอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ในปีการผลิต 2565/66 ที่ผ่านมารองงานน้ำตาลทรายในประเทศไทยทั้งหมด 57 แห่ง ได้มีการดำเนินการเปิดหีบรับซื้ออ้อย ซึ่งมีรายงานว่า มีผลผลิตสูงถึง 93.88 ล้านตัน ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยนั้นมีทั้งแบบตัดใบที่หลังโดยใช้เครื่องสางใบแบบแยกและการเผาใบก่อนการเก็บเกี่ยว ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อให้สะดวกต่อการกำจัดใบและเป็นวิธีที่ง่าย ในการเก็บเกี่ยวอ้อยนั้นผลผลิตส่วนใหญ่ 66.28% มาจากการเผาใบ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560/61) และการเผาใบอ้อยนั้นมีข้อเสียคือ มีแนวโน้มก่อให้เกิดมลพิษส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้อ้อยสูญเสียน้ำหนักและคุณภาพความหวานที่ได้อีกด้วย และมีวัชพืชขึ้นเนื่องจากไม่มีเศษซากของใบอ้อยปกคลุมดิน

ในปัจจุบันเกษตรกรในไทยขาดแคลนการเข้าถึงเทคโนโลยีทางการเกษตรเป็นอย่างมาก เนื่องจากรถตัดอ้อยที่มีในปัจจุบันนั้นมีราคาสูงและหาซื้อได้ยาก รวมถึงการที่ผู้ผลิตในไทยยังมีน้อยราย ทำให้เกษตรกรมีตัวเลือกในการใช้งานไม่มากนัก เช่น เป็นเครื่องสางใบแบบแยกไม่รวมอยู่ในเครื่องตัดอ้อย แบบที่ไม่มีกระบะเก็บอ้อยหลังจากเก็บเกี่ยว หรือสามารถทำได้ครบวงจรแต่จำเป็นต้องใส่มอเตอร์เพิ่ม เป็นต้น ทำให้ไม่ตรงต่อจุดประสงค์ในการใช้งานและมีการใช้งานที่ซับซ้อน

ทางผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญในการวิจัย จึงได้เริ่มต้นปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างและระบบส่งกำลังของเครื่องตัดอ้อยที่สามารถสางใบออกและตัดโคน รวมถึงมีกระบะที่ออกแบบให้สามารถวางกองได้หลังจากการเก็บเกี่ยว ครบในเครื่องเดียว โดยมีต้นกำลังมาจากเพลาอำนาจกำลัง (Power take off shaft) เพียงอย่างเดียว และใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ทำให้เครื่องมีราคาไม่แพง และมีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงของเกษตรกร และง่ายต่อการดูแลในอนาคต เพื่อที่จะลดปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างการทำงานกลไกต่าง ๆ ของเครื่องตัดอ้อยที่ใช้ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์
- 1.2.2 ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดอ้อยและส่วนสางใบ
- 1.2.3 ศึกษากลไกในการทำงานต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องตัดอ้อยให้ทำงานได้ราบรื่น
- 1.2.4 ศึกษาและพัฒนาส่วนสางใบอ้อย และหัวสตุที่เหมาะสมในการใช้งานสางใบได้ดี
- 1.2.5 สามารถทำไดงานได้ตามความต้องการของเกษตรกร และดูแลรักษาง่าย

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ลดมลพิษจากการเผาอ้อย ซึ่งเป็นต้นเหตุในการเกิด PM 2.5
- 1.3.2 เข้าใจในการทำงานของกลไกต่าง ๆ ในรถตัดอ้อยทำให้รถตัดอ้อยทำงานได้อย่างราบรื่น
- 1.3.3 ลดการใช้พลังงานเนื่องจากมีต้นกำลังมาจากเพลลาอันวยกำลังเพียงอย่างเดียว
- 1.3.4 ได้วัสดุที่ดีที่สุดในการนำไปใช้สางใบ
- 1.3.5 ต้นทุนในการสร้างเครื่องต่ำ

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 พันธุ์อ้อยขอนแก่น 3 มีอายุ 10 เดือน ความสูงเฉลี่ย 3-4 เมตร ระยะห่างการปลูก 1.2 เมตร ทั้งการปลูกด้วยเครื่องหรือแรงคน
- 1.4.2 อ้อยปลูกที่จังหวัดชัยภูมิ ตำบลหนองบัวระเหว อำเภอหนองบัวระเหว
- 1.4.3 ใช้รถแทรกเตอร์ฟอร์ด (FORD) 7740 มีกำลัง 86 แรงม้า
- 1.4.4 ความเร็วรอบเพลลาส่งกำลัง (PTO) 540-1000 รอบต่อนาที
- 1.4.5 อ้อยเข้าโรงงานเพื่อนำไปใช้ในการผลิตน้ำตาล
- 1.4.6 คำนวณในสภาวะสมดุล (static) ไม่คำนวณการสั่นของเครื่อง
- 1.4.7 วัสดุที่ใช้ในการสร้างโครงเป็นเหล็กกล่องขนาด 5x5 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ความกว้างในการตัดอ้อย 0.8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของอ้อย รถแทรกเตอร์ และการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีการต่างๆ ในประเทศไทยและจุดประสงค์ในการนำไปใช้งาน
- 1.5.3 ออกแบบโครงสร้างของรถตัดอ้อยโดยพัฒนามาจากรถต้นแบบที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำโดยมีกลไก ดังนี้
  - 1.5.3.1 ส่วนสางใบอ้อย ใช้ในการสางใบให้ลำอ้อยมีความสะอาด
  - 1.5.3.2 ส่วนตัดโคนอ้อย
  - 1.5.3.3 ส่วนของระบบลำเลียงและวางกองโดยใช้ระบบขับเคลื่อนโดยไฮดรอลิกส์
- 1.5.4 คำนวณแรงที่เกิดขึ้นในการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อเลือกเฟือง โซ่ เพลา และลูกปืน ให้สามารถที่จะทนรับแรงได้
- 1.5.5 ทำการทดสอบเดินเครื่องเปล่า จากนั้นลงไร่จริง และทดสอบวัสดุที่ใช้ในการสางใบและเครื่องตัดอ้อยในการใช้งานจริง
- 1.5.6 บันทึกปัญหาและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการทำงาน และนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขเครื่องตัดอ้อยจากการทดสอบ
- 1.5.7 เลือกวัสดุสางใบให้ดีขึ้น สามารถใช้งานได้นาน และหาซื้อได้ง่าย โดยพิจารณาจากคุณสมบัติวัสดุ
- 1.5.8 สรุปผลการทำงานของเครื่องตัดอ้อยและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
- บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย
- บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ผล
- บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวอ้อย

##### 2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสางใบ

พบว่าแรงดึงใบเพิ่มขึ้นตามความสูงของต้นอ้อย และ บางช่วงของความสูงจะมีการเปลี่ยนแรงดึงอย่างฉับพลัน เนื่องจากใบอ้อยบริเวณนั้นยังอ่อนกว่า ใบอ้อยบริเวณช่วงที่ต่ำ ลงมาซึ่งแห้งกว่า

การทดสอบเครื่องสางใบอ้อยกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พบว่าความเสียหายของตาอ้อยและลำอ้อย สัมพันธ์กับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ความเร็วเชิงเส้นในแนวตั้งของลูกตีใบ และทิศทางการหมุนของลูกตีใบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 เมตร/วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีใบหมุนตีขึ้นลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.45 % และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.38 % ขณะที่ความเร็วแทรกเตอร์ 1.39 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.3 เมตร/วินาที และทิศทางการหมุนของลูกตีใบหมุนตีลงลำต้นอ้อยจะเสียหายมากที่สุดซึ่งในการสางใบอ้อยทำพันธุ์นั้นถ้ามีกาบใบหุ้มตาอ้อยอยู่ส่วนใบแห้งหลุดออกและโคนอ้อยสะอาดถือว่าสามารถใช้ทำพันธุ์ได้ ความสะอาดจากการสางใบความหมายทั่วไปคือโคนอ้อยต้องสะอาด ใบแห้งควรหลุดออกจากลำทั้งหมดแต่ในกรณีสางใบเพื่อตัดอ้อยทำพันธุ์นั้น ถ้ามีกาบใบหุ้มตาอ้อยอยู่โดยที่ตาอ้อยและลำอ้อยไม่เสียหายและใบแห้งหลุดออกหมดถือว่าสะอาดเพียงพอในการตัดทำพันธุ์ได้ แต่ถ้าสางใบก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 1-2 เดือน เพื่อตัดอ้อยเข้าโรงงานจะสางใบออกทั้งหมดเพราะโรงงานน้ำตาลไม่สนใจความเสียหายของตาอ้อยและลำอ้อย ทำให้การใช้แทรกเตอร์ที่มีความเร็วสูงและทิศทางการหมุนของลูกตีใบลงจะเสียหายมากที่สุดและความเสียหายน้อยกว่า การใช้แทรกเตอร์ที่มีความเร็วต่ำ

**Table 1** Efficiency testing for the primary sugarcane leaf pruning machine with Khon Kaen 3 sugarcane cultivar

Forward speed (km h <sup>-1</sup> )	Linear Velocity (m s <sup>-1</sup> )	Direction of the Sugarcane Leaf Pruning Roller	Stalk's damage (%)	Seed bud's damage (%)
1.39(low1)	0.3	downward	3.17	2.43
1.39(low1)	0.3	upward	3.02	2.07
1.39(low1)	0.4	downward	2.14	2.13
1.39(low1)	0.4	upward	2.07	1.95
1.39(low1)	0.5	downward	1.93	1.86
1.39(low1)	0.5	upward	1.57	1.78
2.09(low2)	0.3	downward	2.63	2.13
2.09(low2)	0.3	upward	2.24	1.98
2.09(low2)	0.4	downward	2.03	1.82
2.09(low2)	0.4	upward	1.85	1.77
2.09(low2)	0.5	downward	1.93	1.67
2.09(low2)	0.5	upward	1.45	1.38

## ตารางที่ 2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของการสางใบในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น

### 2.1.2 การเลือกใบมีด

ชุดใบมีดที่มีการจับยึดกึ่งอิสระ มุมของคมใบมีด 30 องศา สามารถตัดแต่งอ้อยได้ดีกว่าชุดใบมีดที่มีมุมของคมใบมีด 45 องศา ในการจับยึดแบบเดียวกัน และดีกว่าชุดใบมีดที่มีการจับยึดแบบอิสระ ทั้งที่มีมุมของคมใบมีด 30 และ 45 องศา คือสามารถตัดต่ออ้อยได้ 93.22% ของความยาวของตออ้อย ก่อนการตัดแต่ง และมีรอยตัดขาดที่เรียบ โดยที่ตออ้อยไม่มีการโยกคลอน และเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการทำงานของชุดตัดแต่งตออ้อย พบว่า การจับยึดแบบกึ่งอิสระ ที่มีมุมของคมใบมีด 40 องศาสามารถทำงานได้พื้นที่สูงกว่าการจับยึดในแบบเดียวกันมุมของคมใบมีด 30 องศา 0.38 ไร่ต่อชั่วโมง และการจับยึดแบบอิสระ มุมของคมใบมีด 30 องศา 0.47 ไร่ต่อชั่วโมง และมุมของคมใบมีดแบบ 40 องศา 0.49 ไร่ต่อชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาจากรอยตัดขาดแล้วชุดใบมีดที่จับยึดแบบกึ่งอิสระ มุมคมของใบมีด 30 องศา จะทำให้ตออ้อยเกิดความบอบช้ำน้อยกว่า ดังนั้น จากการออกแบบและพัฒนาชุดตัดแต่งตออ้อย พบว่า ชุดใบมีดที่จับยึดแบบอิสระ มุมของคมใบมีด 30 องศา มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ตัดแต่งตออ้อย

### 2.1.3 แรงในการตัดอ้อย

การวิเคราะห์การตัดเชิงกลที่ขึ้นกับขนาดของตัวแปร ค่าการตัดเชิงกลได้หาค่าโดยใช้เป็นฟังก์ชันของระดับความขึ้นในต้นอ้อยตัวอย่าง เทียบกับขนาดของลำต้น โดยใช้พื้นที่หน้าตัดเพื่อเป็นตัวแปรบอกขนาดของต้นอ้อย ใช้ค่าความแข็งแรงเชิงกลต่างๆเปรียบเทียบเชิงสถิติกับหลายๆขนาด และค่าระดับความขึ้น

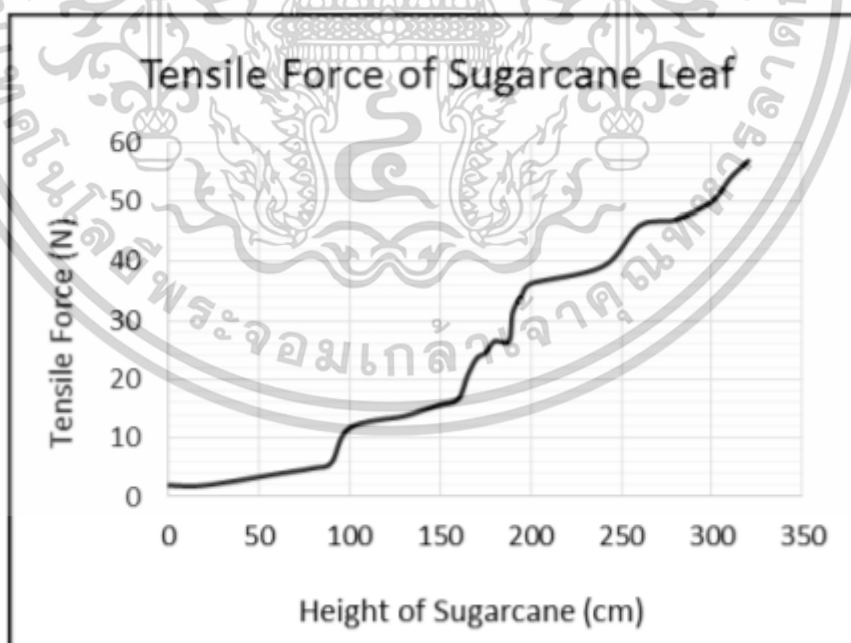
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Level of moisture content	Size	Area	Peak force (N)	Energy (kJ m)	Ultimate stress(MPa)	Specific energy (kJ m <sup>-1</sup> )
Low	Small	78.99±10.5Aa	814.05±192.32a A	3427.5±577.1aA	10.226±1.448aA	44.178±0.814aA
	Medium	12.84±19.68bA	969.21±113.44b A	5115.1±1171.4b A	7.785±0.93bA	40.744±7.439bA
	Large	278.38±25.37c A	1054±3421.3cA A	5474.7±1430.4c A	3.874±1.565cA	26.226±7.753cA
Medium	Small	146.25±15.24a B	422.73±99.55aB B	4705.6±1058.8a B	2.895±0.634aB	32.274±6.879aB
	Medium	214.59±9.22bB	578.03±62.28b B	6419.6±1647.4b B	2.689±0.186bB	29.756±6.627bB
	Large	314.37±13.86c B	698.96±150.59c B	7433±1826cB	2.215±0.402cB	23.554±5.16cB
High	Small	235.62±66.64a C	471.14±63.98aC C	4091.7±853.92a C	2.068±0.364aC	17.657±1.553aC
	Medium	372.9±47.26bC	589.17±82.78b C	6137.1±896.86b C	1.615±0.39bC	16.780±3.849bC
	Large	478.39±42.98c C	690.49±225.74c C	7317.1±3316cC	1.4417±0.450cC	15.094±5.885cC

ตารางที่ 2.2 ผลของขนาดของลำต้นอ้อยที่เกิดขึ้นกับแรงตัดเชิงกลในค่าระดับความชื้นต่างๆ

#### 2.1.4 แรงในการสางใบอ้อย

จากการวัดแรงดึงใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น อายุปลูก 8 เดือนโดยใช้เครื่องซึ่งสปริงดึงทั้งใบและกาบ ใบออกทำให้ทราบว่าแรงดึงใบจะเพิ่มขึ้นตามความสูงของต้นโดยบริเวณโคนต้นจะใช้แรงดึงน้อยกว่า ด้านยอดต้นอ้อย เนื่องจากใบอ้อยมีสีเขียวจะเจริญเติบโตที่หลัง ใบอ้อยที่แห้งแล้วที่อยู่ต่ำลงมา ทำให้ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงใบและความสูงของต้นอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สมการที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 สมการที่ในการคำนวณเฟืองและโซ่

$$P = F_x r \times \omega \quad (2.1)$$

$$P = \frac{2\pi n T}{60} \quad (2.2)$$

$$v = \frac{N p n}{1000} \quad (2.3)$$

$$F_t = \frac{P}{v} \quad (2.4)$$

### 2.2.2 สมการที่ในการคำนวณเพลลา

คำนวณหา shaft diameter จากสมการ DE-Soderberg

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} M_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} M_a)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (2.5)$$

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} M_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} M_a)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.6)$$

โดยกำหนดให้  $M_m = T_a = 0$  และ  $M_a = T_m$  ได้จาก Bending-moment diagram

	Bending	Torsional	Axial
Shoulder fillet—sharp ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
Shoulder fillet—well rounded ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
End-mill keyseat ( $r/d = 0.02$ )	2.2	3.0	—
Sled runner keyseat	1.7	—	—
Retaining ring groove	5.0	3.0	5.0

ตารางที่ 2.3 ค่า  $k_f$  และ  $k_{fs}$

หา  $S_e$  ได้จากสมการ

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา Surface Factor  $k_a$

$$k_a = aS_{ut}^b \tag{2.8}$$

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	$S_{ut}$ , kpsi	$S_{ut}$ , MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hotrolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

ตารางที่ 2.4 ค่า  $k_a$

หา Size Factor  $k_b$

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ in} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \tag{2.9}$$

หา Loading Factor  $k_c$

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{bending} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsion} \end{cases} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า temperature modification factor  $k_d$

Temperature, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperature, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

ตารางที่ 2.5 ค่า  $k_d$

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \quad (2.11)$$

ค่า reliability factor  $k_e$

Reliability, %	Transformation Variate $z_d$	Reliability Factor $k_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

ตารางที่ 2.6 ค่า  $k_e$

The Endurance Limit  $S'_e$

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{ Mpa} \end{cases} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 สมการที่ในการคำนวณแบริง

$$X_D = \frac{L}{L_{10}} = \frac{60L_D n_d}{L_R} \quad (2.13)$$

$$\frac{F_e}{V_{F_r}} = X_2 + Y_2 \frac{F_e}{V_{F_r}} \quad (2.14)$$

$$C_{10} = a_f F \left[ \frac{X_D}{X_o + (\theta - X_o)(1 - R_D)^b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad (2.15)$$

## 2.3 คุณสมบัติวัสดุ

- 2.3.1 เอ็นต์ดหน้า ทำมาจากไนลอน (Nylon) หรือพอลิเอไมด์ (polyamide) ในแบบกลม แบบเหลี่ยม แบบแฉก และแบบสลิง ซึ่งมีคุณสมบัติ ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี แข็งแรง เหนียว ต้านทานแรงดึง และแรงฉีกขาดได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสี ไม่เสียรูปทรงง่ายเหมาะสำหรับงานรับแรงมาก ๆ สามารถยืดหยุ่นได้ (flexible) และทนการบิดพับงอได้ดี
- 2.3.2 สายพานแบบร่องA ทำมาจากโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ตามแนวยาว และ ไนลอน (Nylon) ตามแนวขวาง ผ้าใบชั้นนอก (Canvas) ปกป้องส่วนภายใน เป็นผ้าใบฝ้าย อายบางที่ทนการเสียดสีและการล้าสูง ยางรับแรงอัด (Cushion rubber) เป็นยางที่ทนทานต่อความร้อน และรับแรงอัดจากการขับกำลัง ยางยึดแรงเกาะเส้นด้าย (Adhesion rubber) เป็นส่วนที่ยึดเกาะเส้นด้ายรับแรงให้รักษาแนวที่ถูกต้องเสมอ และประสานส่วนของเส้นด้ายรับแรง และยางรับแรงอัดให้ยึดเกาะติดกันแน่น ชุดเส้นด้ายรับแรง (Tensile members) ส่วนใหญ่ทำจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์เป็นส่วนสำคัญ ในการส่งผ่านกำลัง โดยต้องทนต่อแรงดึงสูง ในขณะที่การยืดตัวต่ำและไม่ล้าตัวขณะขับกำลัง
- 2.3.3 แผ่นพีวีกันน้ำ (pvc water stop) ทำมาจากโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride)
- 2.3.4 ชูเปอลีน ทำมาจากพอลิเอไมด์ (polyamide) ชนิดมีความหนาแน่นของโมเลกุลสูง ความทนทานต่อการสึกหรอสูงมาก ทนแรงกระแทก แรงเฉือนได้ดี มีความเหนียวหยุ่นตัวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) คุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทนทาน ทนแรงดึงได้สูงมาก เป็นฉนวนความร้อนที่ดี เส้นใยแก้วไม่มีการดูดซึมน้ำ จึงไม่เกิดการหดตัวและไม่มีผลกระทบจากน้ำ

2.3.6 ลวดเหล็ก คุณสมบัติของลวดเหล็ก ที่มีความแข็งแรง ทนทาน

	Mechanical	Tensile Strength (psi)	Shear Strength (psi)	Hardness Rockwell/Shore D	Flexural Modulus of Elasticity (psi)
	ASTM	D638	D732	D785 / D2240	D790
เอ็นดีดหญ้า	Extruded Nylon 66	12,000	10,000	M85(R115) / D80	450,000
ซูปเปอร์ลีน	Extruded Nylon 66	12,000	10,000	M85(R115) / D80	450,000
Fiberglass แท่ง	G10/FR-4 Glass Epoxy	40,000	19,000	M110	2,700,000
Urethane	Ether Polyurethane	4,600	-	A70	-
PVC waterstop	Polyvinyl Chloride plasticized	3,626	-	D70	-
สายพานร่องA	-	350,000	-	-	-
ลวดเหล็ก	JIS G3505; SWRM10	91,500	320,000	Brinell hardness (HBW) = 142	26,396,916

ตารางที่ 2.7 ค่า Tensile Strength, Yield Strength และ Elongation ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบสางใบ




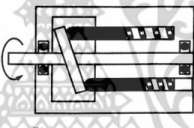
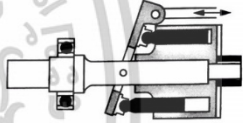

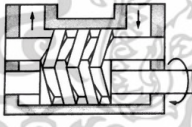
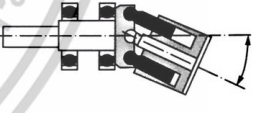
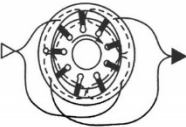
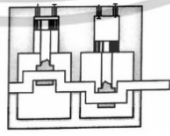
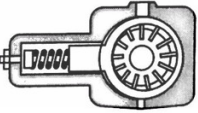
## 2.4 ระบบไฮดรอลิกส์

### 2.4.1 ปัมไฮดรอลิกส์

คืออุปกรณ์สร้างการไหล เมื่อการไหลถูกกีดขวางทำให้เกิดความดัน ถ้าการกีดขวางการไหลมากก็เกิดความดันมาก ทำนองเดียวกัน ถ้าสิ่งกีดขวางการไหลน้อยก็เกิดความดันน้อย เมื่อปั๊มดูดน้ำมันจากถังน้ำมันจะส่งเข้าไปในระบบโดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆของระบบ เช่นวาล์วควบคุมทิศทาง และที่จุดนี้น้ำมันสามารถไหลกลับลงถังน้ำมันหรือไหลเข้าไปในระบบได้ถ้าให้น้ำมันไหลเข้าไปในระบบเพื่อนำไปใช้งานนั้นจะทำให้ น้ำมันมีความดันเพิ่มสูงขึ้น(ขึ้นอยู่กับการกีดขวางมากหรือน้อย) เมื่อความดันขึ้นสูงถึงค่าหนึ่งที่ตั้งไว้ที่วาล์วนิรภัย(Relief Valve) ทำให้ความดันนั้นคงที่(ไม่สูงขึ้นอีกต่อไปได้) การออกแบบโครงสร้างของปั๊มไฮดรอลิกส์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น ราคา อายุการใช้งาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความดันใช้งาน ความเร็วรอบของการหมุน ระดับความดังของเสียง อัตราการส่งน้ำมัน เป็นชนิดที่ปรับอัตราการไหลได้หรือไม่ได้ ประสิทธิภาพ และการทำงานร่วมกันได้กับชนิดของน้ำมันไฮดรอลิกส์ อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งประเภทของปั๊มไฮดรอลิกออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ

1. เกียร์ปั๊ม (Gear pump)
2. เวนปั๊ม (Vane pump)
3. ปั๊มแบบลูกสูบ (Piston pump)

ปั๊มชนิดปรับค่าไม่ได้	ปั๊มชนิดปรับค่าได้	ปั๊มชนิดปรับค่าได้
	 เกียร์ปั๊ม	 ปั๊มลูกสูบแบบทรงกลม
 เกียร์ปั๊มชนิดเฟืองใน	 ปั๊มลูกสูบชนิดสูบ อยู่ในแนวเดียวกับเพลาคับ	 ปั๊มลูกสูบแนวเดียวกับ เพลาคับชนิดแผ่นเอียง
 จีโรเตอร์	 ปั๊มแบบเฟืองหนอน	 ปั๊มลูกสูบแนวเดียวกับเพลาคับชนิด เอียง
 เวนปั๊ม	 ปั๊มลูกสูบชนิดสูบ ในแนวเส้นตรง	 เวนปั๊ม

ตารางที่ 2.8 การแบ่งประเภทของปั๊มไฮดรอลิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของปั๊มไฮดรอลิก

ปริมาณการส่งน้ำมันของปั๊มไฮดรอลิกมีหน่วยวัดหลายชนิด เช่น รอบ/นาที (rev./min.)

ลูกบาศก์เซนติเมตร/รอบ ( $\text{cc}^3/\text{rev.}$ ) ลิตร/นาที (litre /min.) แกลลอน/นาที (GPM) เป็นต้น ปริมาณการส่งน้ำมันของปั๊มไฮดรอลิกสามารถหาได้จากแคตตาล็อกของปั๊มที่เลือกใช้งาน

## 2.4.2 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก

### 2.4.2.1 Double Acting, Single Rod Cylinder

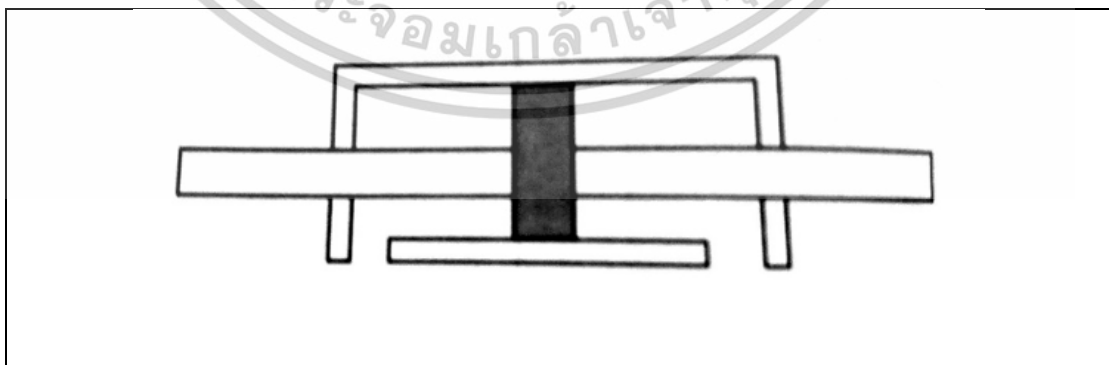
เป็นกระบอกลูกสูบชนิดสองทิศทางมีก้านสูบเดี่ยววิ่งเข้าออกภายในกระบอกลูกสูบทำหน้าที่เปลี่ยนความดันที่มากพร้อมกับการไหล ให้เป็นพลังงานกลเพื่อให้ได้ความเร็วก้านสูบตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.2 กระบอกลูกสูบชนิดสองทิศทางก้านสูบเดี่ยว

### 2.4.2.2 Double Rod Cylinder

เป็นกระบอกลูกสูบแบบสองทิศทาง แต่มีก้านสูบสองข้างต่อออกจากลูกสูบตัวกลางตัวเดียว

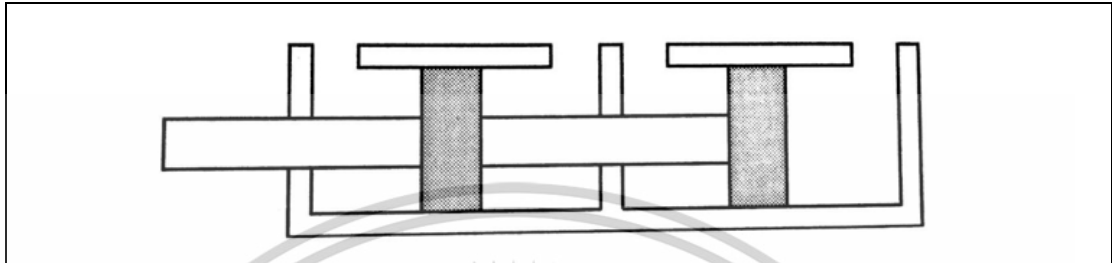


รูปที่ 2.3 กระบอกลูกสูบชนิดสองทิศทางแบบสองก้านสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2.3 Tandem Cylinder

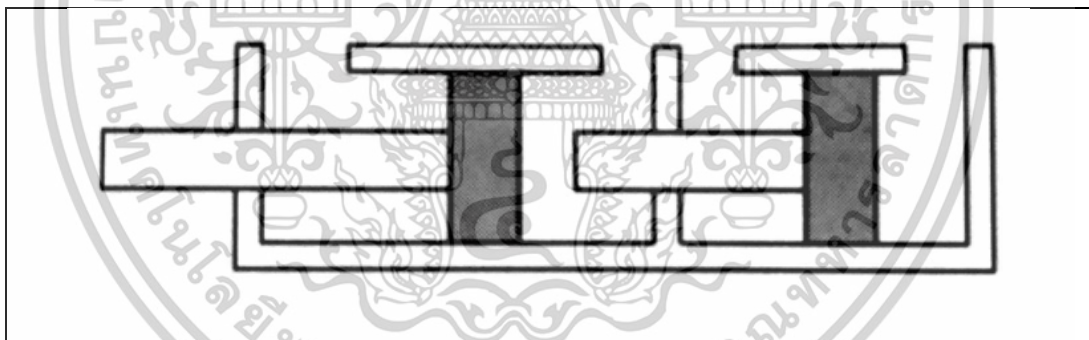
เป็นกระบอกสูบแบบสองทิศทาง ที่มีลูกสูบตั้งแต่ 2 สูบขึ้นไป แต่มีก้านสูบเพียงอันเดียว  
สำหรับใช้ทำงาน ลักษณะของลูกสูบชนิดนี้จะทำให้ได้แรงของก้านสูบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 กระบอกสูบแบบ Tandem Cylinder

### 2.4.2.4 Duplex Cylinder

เป็นกระบอกสูบชนิดสองทิศทาง แต่ก้านสูบไม่ต่อกันและมีจำนวนลูกสูบอย่างน้อยที่สุดตั้งแต่ 2  
สูบขึ้นไป สำหรับด้านที่ไม่ต่อกันนั้นจะมีขนาดของช่วงชักแตกต่างกันออกไปด้วย



รูปที่ 2.5 กระบอกสูบแบบ Duplex Cylinder

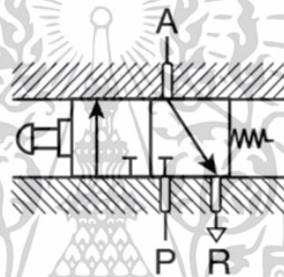
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 วาล์วไฮดรอลิกส์

วาล์วไฮดรอลิกส์สามารถสามารถแบ่งได้เป็นประเภทหลัก 3 ประเภท ได้แก่

#### 2.4.3.1 วาล์วควบคุมทิศทาง

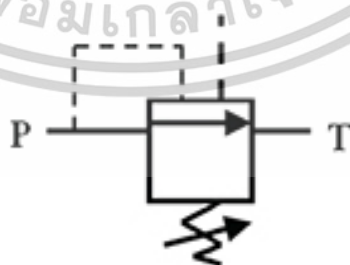
มีหน้าที่เลือกทิศทางการไหลของลมอัดให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน เช่นกระบอกสูบลม มอเตอร์ลม สามารถทำงานได้ และเคลื่อนที่ในทิศทางที่ถูกต้อง โดยใช้หลักการเปิด-ปิดลมอัดจากรูลมหนึ่งไปยังรูลมอีกรูหนึ่ง จำนวนรูลมอัดของวาล์วควบคุมทิศทางมีอยู่หลายแบบ เช่น 2รู, 3รู, 5รู สัญลักษณ์ของวาล์วจะแสดงให้เห็นหน้าที่การทำงาน ไม่ได้แสดงถึงโครงสร้างภายใน โดยเขียนแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสภายในจะมีเส้นและลูกศรแสดงทิศทางการไหล และกำหนดสัญลักษณ์ของรูที่ตัววาล์วด้วย



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง

#### 2.4.3.2 วาล์วควบคุมความดัน

เราสามารถทำให้ระบบมีความดันสูงสุดได้โดยการใช้วาล์วควบคุมความดันซึ่งปกติมีตำแหน่งปิด โดยใช้รู P ต่อกับความดันในระบบส่วนรูน้ำมันไหลออกจากวาล์วให้ต่อจากรู T ของวาล์วกับถังน้ำมัน และให้สปริงของวาล์วทำงานด้วยความดันภายในระบบเอง หมายถึงเมื่อมีความดันสูงกว่าแรงสปริง



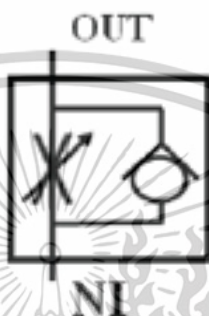
ภายในวาล์วจะทำให้วาล์วตัวเปิดให้น้ำมันไหลจากรู P ไปยังรู T

รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

วาล์วควบคุมอัตราการไหลจะใช้ควบคุมความเร็วของลูกสูบโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของช่องทางของวาล์วที่ให้น้ำมันไหลผ่าน โดยในการทำงาน เมื่อเราคลายสกรูออกช่องทางน้ำมันจะเปิดกว้างส่งผลให้อัตราการไหลมาก แต่เมื่อหมุนสกรูเข้า ช่องทางน้ำมันจะแคบเข้า อัตราการไหลจะน้อยลงในการนำวาล์วนี้ไปใช้งานในการควบคุมความเร็วลูกสูบความเร็วลูกสูบจะไม่คงที่ ซึ่งเป็นเพราะความดันในระบบไม่คงที่ทำให้อัตราการไหลของน้ำมันผ่านวาล์วไม่คงที่



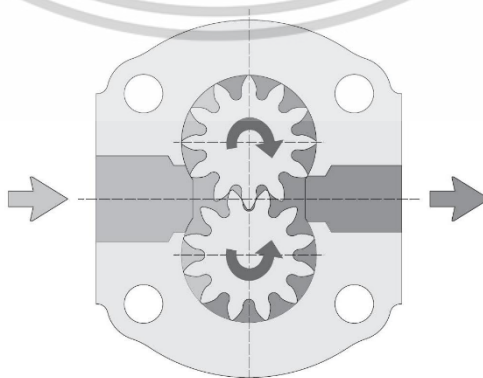
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมอัตราการไหล

### 2.4.4 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์

หน้าที่ของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ มอเตอร์ไฮดรอลิกส์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนไฮดรอลิกหรือพลังงานของเหลวเป็นพลังงานกล ที่ทำงานควบคู่กับปั๊มไฮดรอลิกซึ่งแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานของเหลวหรือพลังงานไฮดรอลิก มอเตอร์ไฮดรอลิกจะส่งกำลังเพื่อเคลื่อนย้ายไหลดภายนอกชนิดของมอเตอร์ไฮดรอลิก แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

#### 2.4.4.1 มอเตอร์เฟือง (Gear motor)

การทำงานของมอเตอร์เฟืองทดคือ น้ำมันแรงดันสูงจะถูกส่งเข้าไปในด้านหนึ่งของเกียร์ซึ่งจะไหลไปรอบๆ เฟืองและตัวเรือนไปช่องทางออกและบีบอัดออกจากตัวมอเตอร์

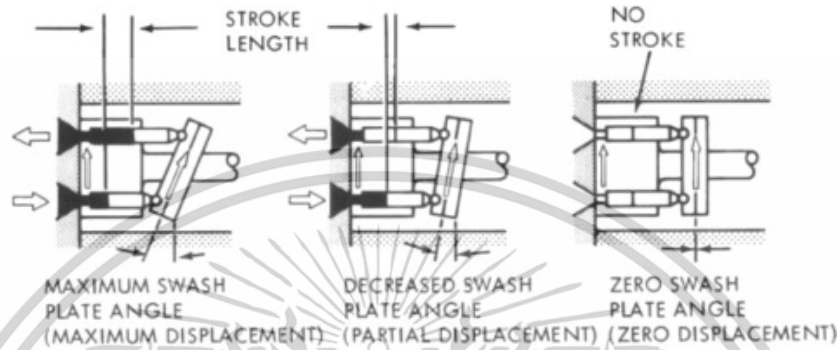


รูปที่ 2.9 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4.2 มอเตอร์แบบลูกสูบ (Piston motor)

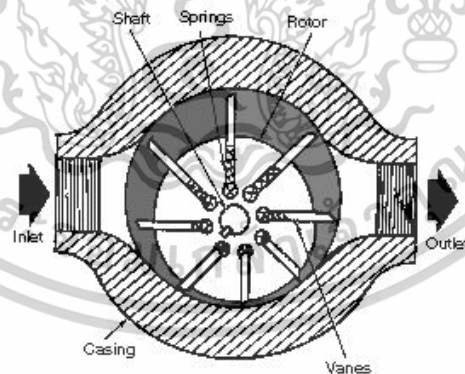
การทำงานของมอเตอร์ลูกสูบคือ น้ำมันแรงดันสูงไหลผ่านเดือยที่อยู่ตรงกลางกระบอกสูบเพื่อขับลูกสูบออกไปด้านนอก ลูกสูบจะดันแหวนที่ถูกผลักและแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากแหวนจะทำให้ตัวกระบอกหมุน



รูปที่ 2.10 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบลูกสูบ

#### 2.4.4.3 มอเตอร์แบบใบพัด (Vane motor)

การทำงานของมอเตอร์ใบพัดคือ น้ำมันแรงดันสูงจะถูกส่งเข้าและออกจากตัวเรือนมอเตอร์ผ่านช่องเปิดในแผ่นด้านข้างที่ทางลาด น้ำมันที่ไหลเข้าที่ช่องทางเข้าจะขับโรเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา โรเตอร์จะส่งของเหลวไปยังช่องทางลาดที่ช่องทางออกเพื่อกลับไปยังถังน้ำมัน หากมีการควบคุมแรงดันที่ช่องทางออกมันจะทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.11 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.5 ท่อส่งน้ำมันไฮดรอลิกส์ ท่อน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ

### 2.4.5.1 ท่อน้ำมันไฮดรอลิกส์แบบ Steel piping

ท่อชนิดนี้เป็นท่อที่ใช้กันมากในระบบไฮดรอลิกส์ในงานอุตสาหกรรมเพราะมีราคาถูกและสะดวกในการใช้งานกว่าท่อชนิดอื่นๆ ท่อชนิดนี้เมื่อต้องการต่อหรือเชื่อมยึดระหว่างท่อกับข้อต่อ หรือระหว่างท่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร จะต้องทำเกลียวที่ปลายท่อ ลักษณะพิเศษของท่อชนิดนี้คือไม่มีตะเข็บภายในสามารถทนแรงดันได้ดีกว่าท่อที่มีตะเข็บภายใน ปราศจากสนิม และสิ่งสกปรกที่ฝังภายในท่อ แป๊ปเหล็กกล้ามีขนาดมาตรฐานต่างๆกัน แบ่งตามความหนาเรียกว่า Pipe Schedule โดยแบ่งเป็นแป๊ปขนาดมาตรฐาน (Standard) แป๊ปชนิดแข็งแรงหนาเป็นพิเศษ(Extra heavy or x-strong) และแป๊ปชนิดหนาเป็นพิเศษ 2 เท่า (Double extra heavy or xx-strong)

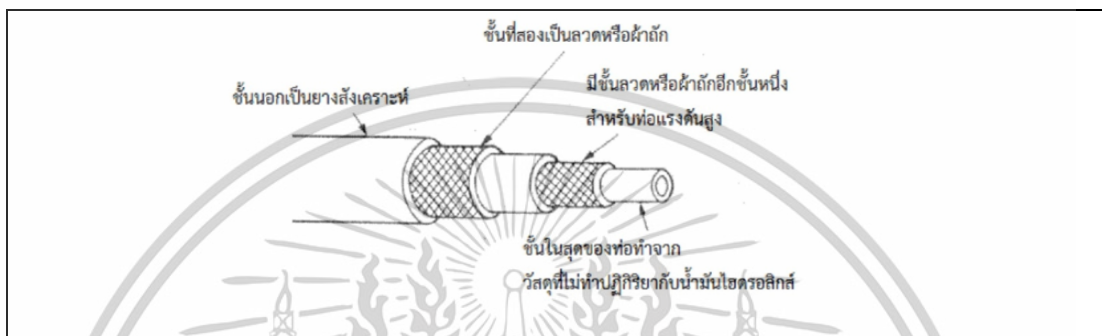
### 2.4.5.2 ท่อน้ำมันไฮดรอลิกส์แบบ Steel tubing

มีข้อดีกว่าแบบ Steel piping คือสามารถตัดให้โค้งงอหรือขึ้นรูปต่างๆ ได้ตามต้องการ ซึ่งจะช่วยลดจำนวนข้อต่อลง ใช้กับงานในระบบที่มีอัตราการไหลของน้ำมันต่ำและท่อต้องทนความดันได้สูง ข้อต่อท่อ ( Tube fitting ) ใช้เชื่อมต่อท่อไฮดรอลิกส์และเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับท่อ การเชื่อมต่อระหว่างท่อกับข้อต่อไม่ใช้การซีลด้วยพินเกลียวเหมือนแป๊ป แต่ใช้การซีลด้วยหน้าสัมผัสของโลหะกับโลหะ ข้อต่อท่อที่มีการซีลลักษณะนี้สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 แบบตามลักษณะการทำงาน คือข้อต่อท่อแบบหัวแฟลร์ ( Flare coupling or flare fitting ) การเชื่อมต่อระหว่างท่อกับหัวข้อต่อท่อแบบหัวแฟลร์นี้ก็คือวิธีการบานปลายท่อนั้นเอง ข้อต่อท่อแบบนี้มีส่วนประกอบ 4 ส่วนได้แก่ ตัวข้อต่อ ส่วนกลาง ปลอกและนอต ข้อต่อท่อแบบหัวแฟลร์นี้แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

1. ข้อต่อท่อแบบหัวแฟลร์ 45 องศา ใช้กับงานความดันสูง
2. ข้อต่อท่อแบบหัวแฟลร์ 37 องศา ใช้กับงานทั่วไป
3. ข้อต่อท่อแบบหัวแฟลร์กลับทาง เหมาะสำหรับใช้ในที่แคบ

### 2.4.5.3 ท่อน้ำมันไฮดรอลิกส์แบบ Flexible hose

ท่อชนิดนี้เป็นท่ออย่างสังเคราะห์สวมซ้อนกันเป็นชั้นๆ สลับกับเชือกถักใช้สำหรับท่อความดันปกติ ส่วนลวดถักใช้สำหรับท่อความดันสูง ยางสังเคราะห์ชั้นในสุดจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันไฮดรอลิกส์ เมื่อต้องการนำไปใช้งานต้องสวมเข้ากับข้อต่อหัวสาย ( Coupling ) ที่ปลายทั้ง 2 ข้างเพื่อยึดติดกับอุปกรณ์อื่นๆ ในวงจรไฮดรอลิกส์ สภาพการใช้งานของท่อชนิดนี้ต้องให้อยู่ในสภาวะปกติ อย่าให้ท่อบิดตัวได้



รูปที่ 2.12 ท่อน้ำมันไฮดรอลิกส์ประเภท Flexible hose

### 2.4.6 วงจรระบบไฮดรอลิกส์

#### 2.4.6.1 การส่งผ่านกำลังแบบวงรอบเปิด (Open Loop)

การส่งผ่านกำลังแบบวงรอบเปิดประกอบด้วย ถังพักน้ำมันปั๊มแบบจ่ายน้ำมันคงที่ วาล์วปลดความดัน และวาล์วควบคุมทิศทาง ซึ่งใช้บังคับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ความเร็วของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับอัตราการจ่ายน้ำมันของปั๊มและปริมาตรของมอเตอร์ ในการทำงานของวงจรน้ำมันจะถูกส่งเข้าสู่วงจรเพื่อทำงานแล้วไหลกลับถึงพักก่อนที่จะถูกดูดกลับไปใช้ใหม่

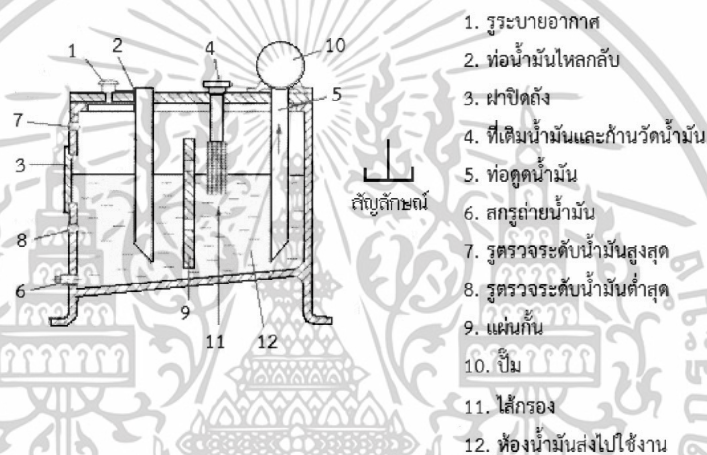
#### 2.4.6.2 การส่งผ่านกำลังแบบวงรอบปิด (Closed Loop)

การส่งผ่านกำลังแบบวงรอบปิด ประกอบด้วยปั๊มหลักซึ่งเป็นปั๊มแบบปรับอัตราการจ่ายน้ำมันได้ในบางกรณีอาจมีปั๊มช่วยตัวเล็กเพิ่มเข้าไปในระบบเพื่อคอยเติมน้ำมันอันเนื่องมาจากการรั่วของปั๊มและมอเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปปั๊มที่เสริมเข้ามาจะทำหน้าที่เสริมน้ำมันทางด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำ ในขณะที่ส่งน้ำมันเข้าไปในระบบยังมีน้ำมัน (ความดัน) อย่างเพียงพอ น้ำมันที่ถูกส่งเข้าไปก็จะถูกระบายออกทางวาล์วปลดความดัน ส่วนถังพักน้ำมันที่ใช้จะมีขนาดเล็กกว่าปกติเนื่องจากน้ำมันส่วนใหญ่จะคงหมุนเวียนอยู่ในระบบ นอกจากนั้นในบางกรณีอาจใช้ชุดระบายความร้อนของน้ำมันตั้งเข้าไปในระบบด้วยโดยติดตั้งเข้ากับช่องระบาย (case drain) ของปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.7 ถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์

หน้าที่ของถังพักน้ำมัน ถังพักน้ำมันมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้ เป็นที่พักน้ำมัน โดยจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะเก็บและสำรองปริมาณน้ำมันให้พอเพียงที่จะจ่ายให้กับระบบทั้งหมด เป็นที่จัดสิ่งสกปรกต่างๆ และน้ำที่ปนมากับน้ำมัน เป็นที่ระบายความร้อนของน้ำมันในระบบ เมื่อน้ำมันไฮดรอลิกส์ถูกใช้ไปเพื่อถ่ายเทกำลังงานจะเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทออกที่ถังพักน้ำมัน โดยต้องรักษาอุณหภูมิของน้ำมันไว้ที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส เป็นที่ขจัดฟองอากาศ เมื่อน้ำมันไหลกลับสู่ถังพักจะเกิดฟองอากาศผสมกับน้ำมัน ดังนั้นในถังพักน้ำมันจะต้องมีเนื้อที่สำหรับอากาศเหนือน้ำมัน เพื่อให้อากาศแยกตัวกลับสู่บรรยากาศ



รูปที่ 2.13 ถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์

## 2.5 เฟืองและโซ่คัปปลิ่ง

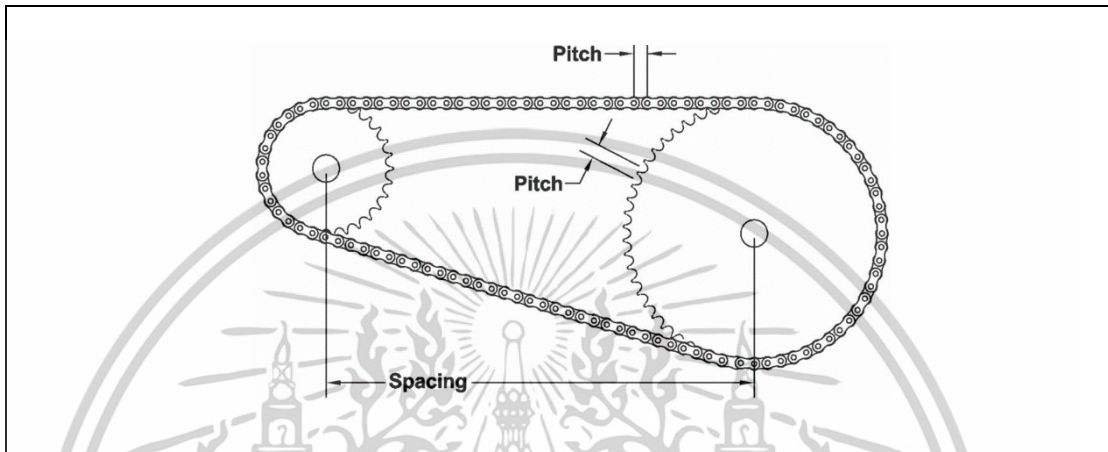
### 2.5.1 เฟือง

เฟืองเป็นชิ้นส่วนเครื่องกลที่มีรูปร่างเป็นจานแบนรูปวงกลม ตรงขอบมีลักษณะเป็นแฉก เรียกว่าฟันเฟือง ซึ่งสามารถนำไปประกบกับเฟืองอีกตัวหนึ่งทำให้เกิดเป็นระบบส่งกำลังขึ้น สามารถทำให้เกิดเป็นความได้เปรียบเชิงกลได้ จึงถือเป็นเครื่องกลชนิดหนึ่งที่ใช้งานอย่างง่าย ด้วยคุณลักษณะนี้ เฟือง สามารถนำมาใช้ส่งผ่านแรงหมุน ปรับความเร็ว, แรงหมุน และ ทิศทางการหมุนในเครื่องจักรได้ โดยระบบเฟืองหรือระบบส่งกำลังนี้ มีความสามารถคล้ายคลึงกับระบบสายพาน แต่จะดีกว่าตรงที่ระบบเฟืองจะไม่มี การสูญเสียพลังงานไปกับการยึดเหนี่ยวและการลื่นไถลของสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2 โข่งกำลัง

โข่ง มีลักษณะการส่งกำลังคล้ายคลึงกับสายพานส่งกำลัง โดยโข่งจะคล้องอยู่กับจานโข่ง ที่ติดอยู่บนเพลาขับ และ เพลาตาม การส่งกำลังด้วยโข่งนี้ จะไม่เกิดการลื่นไถลขณะส่งถ่ายกำลัง เหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้รับภาระแรงดึงมากๆ



รูปที่ 2.14 ลักษณะของเฟืองและโซ่คลัทช์ปิ้ง

### 2.6 ความเค้นและความเครียด

ชิ้นส่วนโครงสร้างทุกประเภท เมื่อถูกแรงหรือน้ำหนักมากจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่ง หรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างวัสดุนั้นก็พยายามที่คงรูปไว้ โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลเพื่อรักษารูปทรง ให้อยู่ในสภาพสมดุล แรงที่มากระทำจะกระจายเต็มพื้นที่หน้าตัด การพิจารณาแรงยึดเหนี่ยวภายในถือ เป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องทราบเพื่อประกอบการพิจารณานำไปประกอบชิ้นส่วน

เราสามารถนำเอาวัตถุต่างๆ มาใช้ประกอบเป็นเครื่องจักรกลและโครงสร้างต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ความแข็งแรงของมวลของวัตถุหรือแรงภายใน เราจำเป็นต้องเอาใจใส่คุณสมบัติของวัสดุต่อไปนี้

1. ความหนาแน่น (Density)
2. ความยืดหยุ่น (Elasticity)
3. ความเค้น (Stress)
4. ความเครียด (Strain)
5. ความแข็ง (Hardness)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 ความเค้น (Stresses)

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุจะมีแรงภายในเกิดขึ้น ในเนื้อของวัตถุต่อต้านเอาไว้ แรงภายในอันนี้ คือ แรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างเนื้อกับวัตถุ หรือจะกล่าวได้ว่า เมื่อวัตถุถูกดึง หรือถูกกด หรือถูกเฉือนให้ขาดออกจากกันก็จะมีแรงปฏิกิริยาโต้ตอบต่อแรงภายนอกที่มากระทำ สมมุติว่าเราตัดแท่งวัสดุให้ตั้งฉากกับแนวแรงภายนอก ที่มากระทำ เราจะเห็นว่าต้องมีแรงทำ

ให้ชิ้นที่ถูกตัดออกไปนี้อยู่ในภาวะสมดุล แรงนี้จะมีค่าเท่ากับ  $P$  และมีทิศทางตรงกันข้ามกับ  $P$  ถ้าเราคิดว่าแรงนี้อยู่ใน เนื้อของวัตถุเมื่อวัตถุยังไม่ขาดจากกันก็คือ อำนาจความยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของวัตถุนั้นเอง ดังนั้นพอจะกล่าวได้ว่าแรงนี้จะต้องแบ่งออกเป็นแรงเล็ก ๆ นับไม่ถ้วนกระจายอยู่เต็มเนื้อที่ความเข้มของแรงต่อพื้นที่ภาคตัดหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้ แล้วแต่ลักษณะของแรง เราสามารถจะหาขนาดของแรงความเค้นได้โดยเอาแรงภายนอกที่มากระทำนั้นหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่แรงนั้นกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ถ้าให้  $S(\delta) =$  ความเค้นของวัตถุ

$P =$  แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ

$A =$  พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

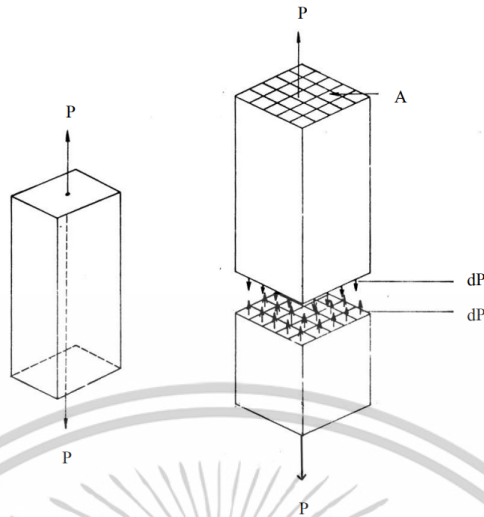
จะได้  $S = \frac{P}{A}$

ชนิดของความเค้น ความเค้นแบ่งออกตามลักษณะที่แรงภายนอกมากระทำได้ 3 อย่าง ได้แก่

1. ความเค้นดึง (Tensile Stress)
2. ความเค้นอัด (Compressive Stress)
3. ความเค้นเฉือน (Shear Stress)

#### 2.6.1.1 ความเค้นดึง (Tensile Stress)

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำวัตถุในลักษณะที่พยายามดึง วัตถุในขาดจากกัน วัตถุนั้นจะมีแรงภายในต่อต้านเอาไว้ แรงภายในที่ต่อต้านเอาไว้ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เราเรียกความเค้นดึง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ภาพของแท่งเหล็กที่ถูกดึง

จากรูป ถ้าให้

$S_T$  = ความเค้นดึงของวัตถุ

$P$  = แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ

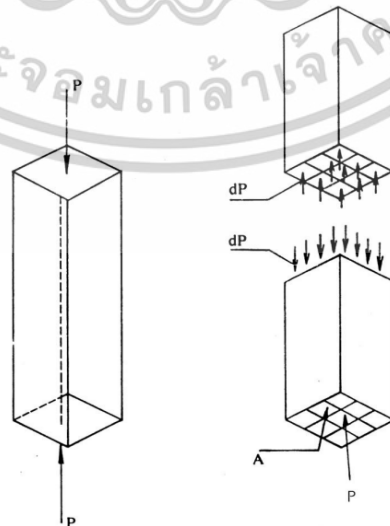
$A$  = พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

จะได้

$$S_T = \frac{P}{A}$$

### 2.6.1.2 ความเค้นอัด (Compressive Stress)

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุในลักษณะที่อัดวัตถุนั้นให้แตกหักออกจากกัน ก็จะมีแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลต่อต้านเอาไว้แรงภายในที่ต่อต้านไว้นี้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เราเรียกว่า ความเค้นอัด ตามรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ภาพของแท่งเหล็กที่ถูกอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ถ้าให้  $S_c =$  ความเค้นดึงของวัตถุ  
 $P =$  แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ  
 $A =$  พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

จะได้  $S_c = \frac{P}{A}$

2.6.1.3 ความเค้นเฉือน (Shear Stress)

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุในลักษณะที่เฉือน วัตถุให้ขาดจากกัน ก็มีแรงภายในต่อต้านเอาไว้ แรงภายในที่ต่อต้านไว้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เราเรียกว่าความเค้นเฉือน



รูปที่ 2.17 ภาพของแท่งเหล็กที่ถูกออกแรงเฉือน

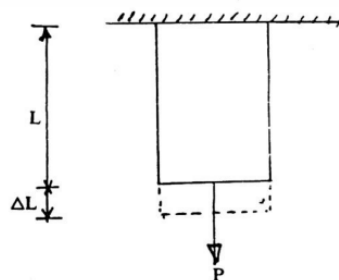
จากรูป ถ้าให้  $S_s =$  ความเค้นเฉือนของวัตถุ  
 $P =$  แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ  
 $A =$  พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

จะได้  $S_s = \frac{P}{A}$

2.6.2 ความเครียด (Strain)

เมื่อแท่งวัตถุ ถูกแรงภายนอกมากระทำ และวัตถุนั้นแปรรูปหรือเปลี่ยนรูปร่างก็จะมีแรงภายในต่อต้านแรงภายนอกที่มาเปลี่ยนรูปร่างนั้น การต่อต้านการเปลี่ยนรูปร่างนี้เรียกว่าความเครียด หากขนาดความเครียดได้โดยเอาส่วนที่เปลี่ยนไปจากรูปร่างเดิมหารด้วยรูปร่างเดิมของวัตถุ แบ่งได้ 3 ประเภทเช่นเดียวกับความเค้น ได้แก่

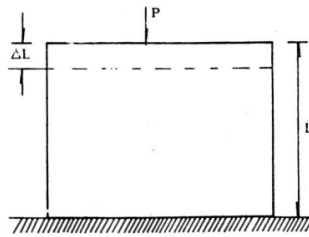
1. ความเครียดดึง (Tensile Strain)



รูปที่ 2.18 ภาพลักษณะของความเครียดที่เกิดขึ้นจากการดึง

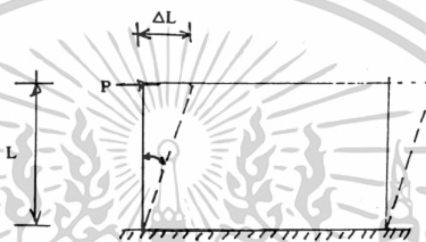
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ความเครียดอัด (Compressive Strain)



รูปที่ 2.19 ภาพลักษณะของความเครียดที่เกิดขึ้นจากการอัด

## 3. ความเครียดเฉือน (Shear Strain)



รูปที่ 2.20 ภาพลักษณะของความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเฉือน

### 2.6.3 ความยืดหยุ่น (Elasticity)

คือคุณสมบัติของวัตถุที่กลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อมีแรง หรือระบบของแรงมากระทำ ให้แปรรูปนั้น ๆ หมดไปแล้ว วัสดุที่นับได้ว่ามีความยืดหยุ่น โดยสมบูรณ์ ก็ต่อเมื่อไม่มีการแปรรูปจนอยู่ตัวเหลืออยู่เลยจนนิดเดียว เมื่อเอาแรงหรือระบบของแรงนั้นออกไปเสีย เช่น ยางยืด สปริง เป็นต้น

### 2.6.4 ความเป็นพลาสติก (Plasticity)

คือคุณสมบัติของวัตถุที่ยอมแปรรูปจนอยู่ตัว แม้แต่จะถูกแรงภายนอกมากระทำเพียงนิดเดียวเมื่อเอาแรงภายนอกออกแล้วก็คงอยู่ในสภาพที่แปรรูป เช่นเดิม เช่น ดินเหนียว

### 2.6.5 กฎของฮุก (Hook' Law)

โรเบิร์ต ฮุก เป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ทำการทดลองดึงท่อนวัสดุหลาย ๆ อย่างในหน้าตัดเท่า ๆ กัน และสังเกตพบว่าการยืดตัวของท่อนวัสดุเมื่อถูกแรงดึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่ใช้ดึงและเขาได้สรุปกฎไว้ว่า “ ถ้ามีแรงมากระทำต่อวัตถุ การยืดตัวของวัตถุจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับแรงที่มากกระทำ” หรือ “ภายในขอบเขตแห่งความเป็นพลาสติก (Plastic Limit) ความเครียดที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเค้น” คำว่าภายในขอบเขตแห่งพลาสติกนั้นหมายความว่า ถ้าวัสดุถูกแรงภายนอกมากระทำวัตถุก็จะยืดหรือหดหรือเปลี่ยนรูปร่างและจะเปลี่ยนรูปร่างไปจนถึงขีดหนึ่ง ถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเอาแรงที่มากกระทำนั้นออก วัตถุก็จะสามารถกลับคืนเข้าสู่สภาพเดิมได้ จากทฤษฎีของฮุกนี้ทำให้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$S$  = ความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัตถุ

$E$  = ความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัตถุ

จะได้ว่าสัดส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดหรือเขียนในรูปของ  $\frac{S}{E}$  จะมีค่าคงที่ โดยจะเรียกค่าคงที่นี้ว่า ค่าพิกัดยืดหยุ่นสำหรับวัสดุชนิดหนึ่ง (Modulus of Elasticity)

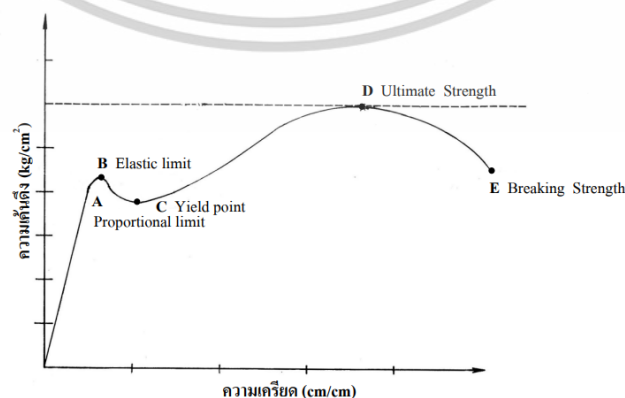
### 2.6.6 ค่าพิกัดความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

พิกัดยืดหยุ่นนี้เราเรียกอีกอย่างว่า (Young's Modulus) เป็นค่าตัวคูณคงตัวของวัสดุชนิดหนึ่ง ๆ เราใช้สัญลักษณ์เป็นตัว  $E$  โดย

$$E = \frac{S}{E}$$

### 2.6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

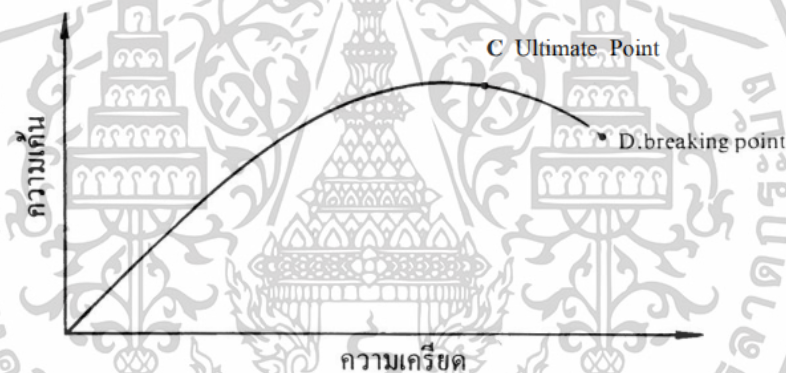
ค่าต่าง ๆ เกี่ยวกับสมบัติบางประการของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณความแข็งแรงของชิ้นส่วนเครื่องกล และโครงสร้างได้มาจากการทดลองแรงดึงนั้นจริง ๆ นำแท่งวัสดุตามขนาดที่กำหนด ทดสอบแรงดึงหลาย ๆ อัน วัดขนาดของแรงที่กระทำและ ส่วนที่ยืดออกไป ตลอดจนเส้นผ่าศูนย์กลางที่เปลี่ยนไปด้วยหลังจากได้ตัวเลขอย่างละเอียดดีแล้ว จึงนำมาเขียนเป็นเส้นกราฟเพื่อใช้งานต่อไป ค่าที่มีความสำคัญในการคำนวณตามกฎของฮุก คือ ความเค้นและความเครียด ดังนั้นในการทดลอง เราจึงพยายามวัดค่าทั้งสองนี้เพื่อนำมาเขียนกราฟ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน โดยใช้ค่าความเค้นเป็นแกนตั้ง (Ordinate) และค่าความเครียดเป็นแกนนอน (Abcissa) ก็จะได้ Curve ที่เรียกว่ากราฟการทดสอบแรงดึง (Tensile Test Diagram) ดังรูปที่ 2.21 ซึ่งเป็นแผนภาพทดสอบแรงดึงเส้นเหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้าง



รูปที่ 2.21 แผนภาพการทดสอบแรงดึงของเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่า จาก O ถึง A จะเป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า ในระยะนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจะเป็นไปตามกฎของ ฮุก จุด A นี้เราเรียกว่า “ จุดแห่งขอบเขตของความยืดหยุ่น ” หรือจุดจำกัดความยืดหยุ่น (Proportional limit) เลยจุด A ไปการยืดตัวของวัสดุ จะไม่เป็นสัดส่วน หรือจะไม่เป็นตามกฎของฮุกที่จุด B การยืดตัวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าความเค้น ตอนนี้อัตราความยืดหยุ่นระหว่างโมเลกุลของวัสดุเริ่มคราก(Yield)คือ จุดที่วัสดุไม่ยอมกลับคืนสู่สภาพเดิม เมื่อแรงที่มากระทำนั้นหมดไป เราเรียกว่า จุดคราก (Yield Point) เมื่อเลยจุด B ไปแล้ว เมื่อออกแรงดึงวัสดุจะยืดต่อไป และเมื่อเพิ่มแรงดึงไปถึงจุด C ดูตามกราฟจะเห็นว่าเส้นกราฟขึ้นไปสูงสุดที่จุด C และเมื่อเลยจุดนี้ไปแล้ว วัสดุจะยืดต่อไป แม้ไม่ได้เพิ่มแรงเลย เมื่อดูตามเข็มของเครื่องทดลองจะเห็นว่าแรงที่ใช้ดึงลดลงไปจากจุด C เราเรียกว่าจุดแรงสูงสุด (Ultimate Strength) วัสดุจะยืดตัวต่อไป แม้แรงจะลดลงถึงจุด C และวัสดุจะขาด เราเรียกจุด D ว่า จุดขาด (Breaking Point) วัสดุบางชนิดไม่แสดงขอบเขต ความเป็นสัดส่วนโดยแน่ชัดเช่น เหล็กหล่อ ดูรูปที่ 2.22



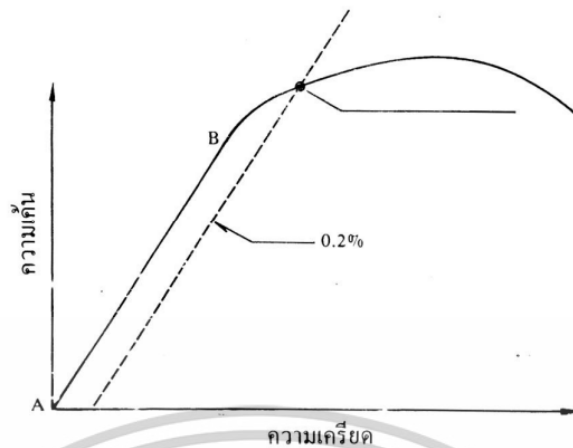
รูปที่ 2.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุที่เป็นเหล็กหล่อ

2.6.7.1 การยืดตัวเป็นร้อยละ (Percentage of Elongation) จากการทดลองการดึงวัสดุ วัสดุย่อมมีการยืดตัวต่าง ๆ กัน เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถบันทึกการยืดตัวออกได้อย่างละเอียดตั้งสมการ

$$\text{Percentage of Elongation} = \frac{dL}{L} \times 100\%$$

ในวัสดุบางอย่างเช่น เหล็กหล่อ ( Cast iron) ตามรูปที่ 2.23 แล้ว กราฟไม่สามารถจะแสดงให้เราทราบถึงจุดยืด Yield Point ได้อย่างแน่นอน จุดยืดเป็นจุดสำคัญมากในการออกแบบโครงสร้างหรือเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ภาพแสดงการหาจุด Yield Point

โดยทั่วไปแล้วเราสามารถหาจุด Yield Strength โดยเขียนเส้นตรงให้ขนานกับช่วง Elastic Limit โดยจุดเริ่มต้นของเส้นขนานนี้ห่างจากจุดกำเนิดของกราฟประมาณ 0.2% ของความเครียด เมื่อเส้นขนานนี้ไปตัดเส้นกราฟที่ไหน ก็ให้ถือว่า Yield Strength อยู่ที่จุดนั้น

#### 2.6.7.2 แรงประลัย (Ultimate Strength)

วัตถุต่าง ๆ เมื่อถูกแรงภายนอกกระทำจะมีแรงภายใน (Stress และ Strain) ต่อต้านเอาไว้ แต่ถ้าวัตถุนั้นถูกแรงกระทำเพิ่มขึ้นทุกที แรงภายในก็จะเพิ่มตามไปด้วยแต่จะมีขีดจำกัดอยู่ที่หนึ่งนั้น จะมีความต้านทานเพิ่มขึ้นอีกไม่ได้ และถ้าวัตถุได้รับแรงต่อไปเกินขีดจำกัดจะเกิดการแตกหรือขาดได้ ขีดที่กล่าวนี้คือ แรงสูงสุดที่วัสดุสามารถจะรับน้ำหนัก หรือแรงประลัย (Ultimate Strength)

#### 2.6.7.3 แรงที่กำหนดให้ใช้งานได้ (Allowable, Stresses or Working Stress)

เป็นแรงภายในที่กำหนดขึ้นเพื่อให้วัสดุสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัย เนื่องมาจากการทดสอบกำลังของวัสดุเราสามารถทราบกำลังสูงสุดของวัสดุได้ แต่เราไม่สามารถจะทราบถึงกำลังที่ปลอดภัยเมื่อวัสดุนั้นรับกำลัง เราจึงกำหนดความแข็งแรงที่ใช้งานได้ปลอดภัย

#### 2.6.7.4 ตัวประกอบปลอดภัย (Factor of Safety)

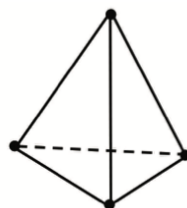
จากการทดสอบกำลังของวัสดุนั้นทราบกำลัง สูงสุด (Ultimate Strength) ของวัสดุ ในการออกแบบโครงสร้างและเครื่องจักรกลเราต้องการความ ปลอดภัย ถ้าใช้ค่ากำลังประลัยในการออกแบบ ก็จะได้ผลลัพธ์ซึ่งหมิ่นต่ออันตราย เพราะถ้าวัสดุได้รับแรงมากกว่านั้นนิดเดียวก็จะต้องแตกหักลงด้วยเหตุผลดังกล่าวได้ มีการพิจารณาหาตัวเลขจำนวนหนึ่ง ไปทอนค่า Ultimate Strength ให้น้อยลง เรียกจำนวนนี้ว่า ตัวประกอบปลอดภัย (Factor of Safety) ในงานวิศวกรรมสาขาต่าง ๆ ได้กำหนดตัวประกอบปลอดภัยไว้ต่าง ๆ กัน ค่าที่ได้จากการนำเอาตัวประกอบ ปลอดภัยไปหารความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) เรียกว่าความแข็งแรงที่ยอมให้ใช้นั่นเอง ถ้า เขียนให้เป็นสมการจะได้ ดังนี้

$$\text{Working Strength} = \frac{\text{Ultimate Strength}}{\text{Factor of Safety}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method; FEM หรือ finite element analysis; FEA) คือ วิธีการนำหลักการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ในเชิงพฤติกรรมของวัสดุ เชิงโครงสร้าง (structural) ความร้อน (heat transfer) หรือของไหล (fluid flow) ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดขึ้น โดยอาศัยการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equation) ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical methods) เพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณ (approximate solution) ของปัญหาที่กำหนดผ่านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ปัจจุบันการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามามีบทบาทในการศึกษาเชิงวิศวกรรมศาสตร์มากขึ้น เนื่องจากช่วยพัฒนาจุดบกพร่องของวัสดุและสนับสนุนการออกแบบวัสดุให้เอื้อต่อการบูรณะ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาและความสำเร็จในระยะยาวข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยทำให้การขึ้นรูปแบบจำลองทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และเป็นเสมือนโครงสร้างจริง ส่งผลให้การคำนวณแม่นยำมากขึ้น ทดลองซ้ำได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ (parameter) ได้สะดวกเป็นไปตามคุณสมบัติที่แท้จริงของวัสดุที่ต้องการศึกษา กำหนดทิศทาง และปริมาณแรงที่กระทำต่อวัสดุได้ ซึ่งสามารถศึกษาพฤติกรรมของวัสดุที่สถานะทางกายภาพแตกต่างกัน ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ประเมินผลลัพธ์ที่ได้หลายรูปแบบ เช่น ความเค้น (stress) ความเครียด (strain) การเคลื่อนขยับ (displacement) การถ่ายเทความร้อน กลศาสตร์ของไหล (fluid mechanic) เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการสร้างสถานการณ์จำลองจริง การสร้างแบบจำลองต้นแบบเวลาในการทดสอบ และค่าใช้จ่ายในงานวิจัย โดยการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element model) ด้วยโปรแกรม Solik Works ตามสัดส่วนจริง โดยกำหนดชนิดของเอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นเป็นแบบสามมิติแบบสามเหลี่ยมสี่หน้าสิบจุดต่อ (10-node tetrahedral) ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับโครงสร้างซับซ้อน ในหนึ่งเอลิเมนต์ที่เหมาะสมประกอบไปด้วยจุดต่อ (node) ทั้งหมด 10 จุดต่อ คือ I, K, L, M, N, O, P, Q และ R (มี 4 มุมและมีจุดต่อกึ่งกลาง 6 จุด) มีระดับขั้นความเสรี (degree of freedom) ของแต่ละจุดต่อเอลิเมนต์เท่ากับ 3 คือ ในแนวแกน x, y และ z ดังแสดงใน รูปที่ 2.25 (คงเดช และคณะ, 2555)



รูปที่ 2.24 10-node tetrahedral Element model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1 การแบ่งเอลิเมนต์ (meshing model)

ขั้นตอนแก้ปัญหาด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง (discretization) ในการแบ่งรูปร่าง (meshing geometry) ขอบเขตของปัญหาที่มีความซับซ้อนออกเป็น ชิ้นส่วนย่อยเรียกว่าเอลิเมนต์ (element) ที่มีขนาดเล็กลงเพื่อ ให้ง่าย สะดวกต่อการคำนวณ แต่ละเอลิเมนต์มีคุณสมบัติ เฉพาะตัว ทางกายภาพ เช่น ความหนา ความหนาแน่น โมดูลัสของยัง (Young's modulus) และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson ratio) เป็นไปตามชนิดของวัสดุที่ต้องการศึกษา

เอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ฟังก์ชัน การประมาณภายใน (interpolation functions) ที่แตกต่างกัน ไปขึ้นกับรูปร่าง ขอบเขต จำนวนจุดต่อ เอลิเมนต์ที่อยู่ติดกัน ใช้จุดต่อร่วมกันโดยมีขอบที่เป็นขอบเขตเชื่อมต่อกันระหว่าง จุดต่อของเอลิเมนต์ นอกจากจุดที่อยู่บริเวณมุมของเอลิเมนต์ แล้วยังอยู่บนขอบที่เชื่อมต่อกันระหว่างจุดต่อสองจุด เรียกว่าจุดต่อกลาง (midside node) การเพิ่มจำนวนจุดต่อบน แบบจำลองช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความ แม่นยำมากขึ้น ซึ่งขึ้นกับความจำเป็นในรูปแบบการวิเคราะห์ แบบจำลอง ทำให้รูปแบบการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีหลายรูปแบบ ส่งผลต่อรูปแบบสมการเชิงอนุพันธ์บนจุดต่อและฟังก์ชันการประมาณภายใน การกำหนดเงื่อนไข ขอบเขต และการถ่ายทอดพลังงานที่เกิดขึ้น เมื่อวัสดุมีแรงมากกระทำ ปัจจัยดังกล่าวจึงมีอิทธิพลต่อการ เลือกใช้รูปแบบลักษณะของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับแบบจำลองศึกษา ถือเป็นหลักสำคัญที่ทำให้กระบวนการวิเคราะห์ สามารถจำลองได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด

### 2.7.2 การกำหนดคุณสมบัติและพฤติกรรมวัสดุ

การกำหนดคุณสมบัติและความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยย่อยตามลักษณะพฤติกรรมและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ต้องการศึกษา เบื้องต้นหลังแบ่งแบบจำลองเป็นเอลิเมนต์ แต่ละเอลิเมนต์มีลักษณะเสมือนวัตถุอิสระที่แยกจากกัน จำเป็นต้องกำหนดคุณสมบัติและความสัมพันธ์ของแต่ละเอลิเมนต์ตามพฤติกรรมเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุให้ใกล้เคียงกับลักษณะจริงของวัสดุชนิดนั้น ๆ รวมถึงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุที่ต้องการศึกษาให้วัตถุเคลื่อนขยับ หยุดนิ่ง หรือมีแรงมากกระทำบริเวณใด ด้วยขนาดของแรงเท่าใด มีตำแหน่งถ่ายทอดแรงระหว่างแต่ละหน่วยย่อยมีลักษณะเป็นจุดหรือเป็นพื้นที่เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีพฤติกรรมในระดับโครงสร้างที่สอดคล้องกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด คุณสมบัติที่ต้องกำหนดเพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วย ประเภทของวัสดุตามพฤติกรรมตอบสนองเมื่อได้รับแรง ลักษณะพฤติกรรมบริเวณผิวสัมผัสของแบบจำลอง พฤติกรรมเชิงกลของโครงสร้างวัสดุสามมิติทั้งสามแนวแกน คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด ได้แก่ โมดูลัสของยังใช้อธิบายความแข็ง (stiffness) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัสดุ ที่หาได้จากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ นั้น ๆ อัตราส่วนปัวซอง เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความเครียดตามขวางกับค่าความเครียดที่มีทิศทางเดียวกันกับแนวแรงที่มากระทำ ค่าเฉพาะทั้งสองถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการทำนายพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ

### 2.7.3 เงื่อนไขขอบเขต

เป็นการกำหนดค่าตัวแปรหนึ่งในสมการซึ่งเป็นข้อมูลรับเข้า (input) เพื่อเป็นเงื่อนไขในการประมวลผล ค่าตัวแปรนี้มีความสำคัญในการกำหนดบริเวณจุดจอตใดเกิดการเคลื่อนขยับได้ บริเวณใดกำหนดให้อยู่นิ่ง (zero displacement) มีผลต่อระดับความเสรีของแต่ละจุดต่อ รูปแบบของระดับความเสรีมีหลายแบบขึ้นกับลักษณะสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ถ้าต้องการวิเคราะห์โครงสร้างวัสดุในรูปสามมิติโดยพิจารณาตามแนวแกนทั้งสามคือ แนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  เมื่อพิจารณาเพียงจุดต่อเดียว เกิดการเคลื่อนที่อิสระได้ทุกทิศทาง พบว่าการเคลื่อนที่มี 6 ระดับ ความเสรีที่จุดต่อสามารถเกิดการเลื่อนขนาน (translation) หมุน (rotation) หรือเกิดโมเมนต์ (momentum) ไปตามแนวแกนทั้งสาม เมื่อจุดต่อเชื่อมต่อกันเกิดเป็นเอลิเมนต์ย่อย ระดับความเสรีถูกจำกัดลง ดังนั้นรูปร่างเอลิเมนต์ และตำแหน่งความสัมพันธ์จุดต่อที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อระดับความเสรีของจุดต่อเป็นเสมือนตัวแปรอิสระ (independent variable) ที่เลือกกำหนดค่าได้ทำได้ทำให้การอธิบายระบบเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ นอกจากรูปร่างเอลิเมนต์และความสัมพันธ์ระหว่างจุดต่อมีผลต่อระดับความเสรี การกำหนดตำแหน่งยึด (constraint) ตรึงโมเดลให้อยู่กับที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลเช่นกัน โดยการยึดตำแหน่งจุดต่อหรือเอลิเมนต์ให้หนึ่งเพื่อให้เกิดความสมดุลต่อการรับแรงที่มากระทำ และเกิดความคลาดเคลื่อนต่อการกระจายแรง เช่นตำแหน่งยึดเกาะของของชิ้นงาน ทิศทางเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ถ่ายทอดพลังงานไปบริเวณที่ต้องการศึกษา ตำแหน่งที่กำหนดจุดต่อให้อยู่นิ่งควรมีระยะห่างพอที่ทำให้ไม่เกิดรูปแบบการกระจายพลังงานที่ซ้อนทับกัน และไม่เกิดปฏิกิริยาต่อพลังงานที่ให้แก่ระบบ ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจึงมีผลต่อการประมวลผลข้อมูลทำให้การจำลองมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด

### 2.7.4 ข้อจำกัดของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การสร้างแบบจำลองใช้วิธีการขึ้นรูปแบบจำลองดิจิทัลซึ่งทำได้ยาก โดยแบบจำลองที่ได้อาจไม่เหมือนสภาวะจริงอย่างสมบูรณ์ ความคลาดเคลื่อนในการสร้างแบบจำลองเป็นสาเหตุสำคัญ ที่ทำให้ผลการศึกษาแตกต่างไปจากความเป็นจริง เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตไม่อาจครอบคลุมสภาวะจริงได้ทั้งหมด ไม่สามารถถ่ายทอดผ่านการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ จึงควรมีการทดสอบอื่น เช่น การศึกษาในห้องปฏิบัติการ หรือการศึกษาในสัตว์ทดลอง เพื่อยืนยันผลการศึกษา ร่วมด้วยเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

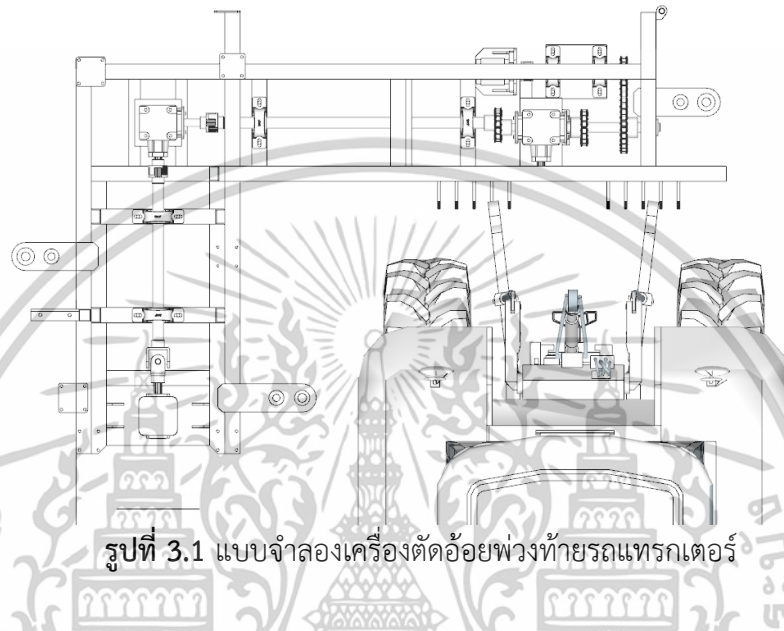
## ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

เป็นการบอกขั้นตอนในการออกแบบและการทดลองส่วนสางใบของรถตัดอ้อยในแต่ละขั้นตอนและการติดตามผลเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ให้ได้วัสดุในการสางใบที่ดี สามารถใช้งานได้นาน และหาซื้อได้ง่าย เครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสางใบแบบพวงรถแทรกเตอร์ ทำงานโดยใช้การส่งกำลังผ่านการส่งกำลัง 2 ประเภทได้แก่ การส่งต่อกำลังผ่านเพลาลูกเบี้ยวและเกียร์ และการส่งกำลังผ่านระบบไฮดรอลิกส์ โดยที่ต้นกำลังของเครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสางใบนั้นมีต้นกำลังมาจากเพลลา PTO ของรถแทรกเตอร์ซึ่งในรถแทรกเตอร์แต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่นนั้นมีความเร็วรอบสูงสุดที่แตกต่างกันออกไปโดยความเร็วรอบสูงสุดของเพลลา PTO ในแต่ละยี่ห้อที่มีความเร็วรอบสูงสุดตั้งแต่ 300 rpm จนถึง 500 rpm ซึ่งความเร็วรอบสูงสุดของเพลลา PTO ก็ขึ้นอยู่กับแรงม้าของรถแทรกเตอร์ด้วยดังนั้นเพื่อให้รถตัดอ้อยสดพร้อมสางใบสามารถทำงานได้กับรถแทรกเตอร์ในท้องตลาดผู้พัฒนาจึงออกแบบรถตัดอ้อยสดพร้อมสางใบให้สามารถใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดกลางที่มีความแรงม้าตั้งแต่ 53 แรงม้าแต่ไม่เกิน 90 แรงม้า โดยมีการออกแบบให้ความเร็วรอบที่ใช้กับเครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสางใบนั้นอยู่ที่ 300 rpm โดยที่เครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสางใบแบบพวงท้ายรถแทรกเตอร์นั้นประกอบไปด้วยส่วนโมดูลหลักทั้งหมด 4 โมดูลได้แก่ โมดูลตัดโคน โมดูลสางใบ โมดูลลำเลียงวางกอง และโมดูลตัดยอดซึ่งภายหลังได้ทำการยกเลิกส่วนนี้ออกไป โดยในระยะแรกของการออกแบบเครื่องตัดอ้อยโมเดลต้นแบบมีความสามารถในการตัดอ้อยสดเป็นลำได้ถึง 8-10 ไร่ต่อวัน หรือคิดเป็นน้ำหนักอ้อยอยู่ที่ 80-100 ตันต่อวัน ซึ่งการออกแบบเครื่องต้นแบบนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ นั่นก็คือต้นกำลังที่สามารถทำให้เครื่องตัดอ้อยเครื่องนี้ทำงานได้นั้นต้องใช้กับเพลลา PTO ของรถแทรกเตอร์ที่มีขนาด 90 แรงม้าขึ้นไปจึงจะสามารถทำให้เครื่องตัดอ้อยตัวต้นแบบนี้ทำงานได้ เพื่อส่งเสริมให้เครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสางใบนั้นสามารถเข้าถึงเกษตรกรรายย่อยได้มากขึ้นทางคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรที่จะลดขนาด และกำลังที่ใช้กับเครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสางใบ เพื่อให้สามารถเข้าถึงเกษตรกรรายย่อยที่มีรถแทรกเตอร์ขนาดกลางหรือรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังตั้งแต่ 53 แรงม้าขึ้นไปแต่ไม่เกิน 90 แรงม้า จึงต้องพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องตัดอ้อยให้มีการใช้กำลังที่ลดลง แต่ยังคงสามารถตัดอ้อยสดได้ 7-9 ไร่ต่อวัน หรือคิดเป็น 70-90 ตันต่อวัน ในการปรับปรุงเครื่องตัดอ้อยตัวต่อไปโดยจะทำการทดลองสร้างเครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสางใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การออกแบบโครงสร้างและกลไก

เครื่องตัดอ้อยที่ออกแบบขึ้นมาจะใช้กำลังที่ส่งผ่านมาจาก Power take off shaft (PTO) ของรถแทรกเตอร์ผ่านเกียร์บ็อกซ์ โช้และเฟือง มายังชุดใบมีดตัดโคนของเครื่องตัดอ้อยสตร้อมสามใบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองเครื่องตัดอ้อยพวงท้ายรถแทรกเตอร์

ต้นกำลังจากเพลลา PTO ส่งกำลังไปยังส่วนต่าง ๆ ของการทำงาน จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนเพื่อหาวัสดุที่สามารถทนรับแรงที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ได้ และรวมแต่ละส่วนทั้งหมดเป็นโครงสร้างของรถตัดอ้อยที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามขอบเขตที่วางไว้

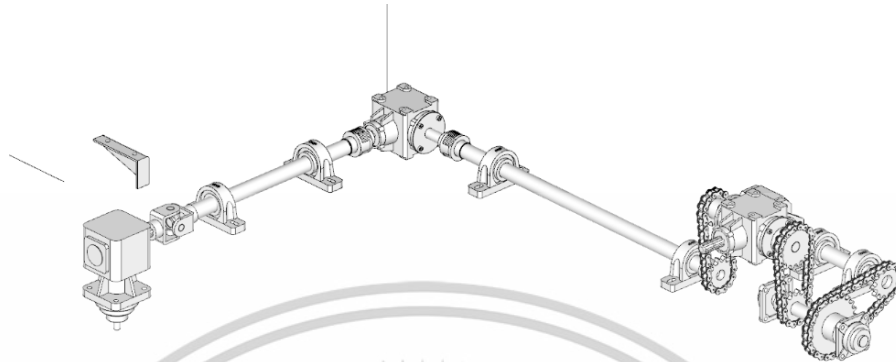
#### 3.1.1 การออกแบบเฟืองและโช้

##### 3.1.1.1 ส่วนตัดโคน

เมื่อ Power take off shaft (PTO) ส่งกำลังมาให้กับ Gear box ชุดแรกซึ่งได้มีการออกแบบเพื่อทดความเร็วรอบของ Power take off shaft (PTO) ต่อความเร็วรอบของ Gear box ขาออกเป็น 1:2 แล้วก็จะส่งผ่านกำลังต่อให้กับเฟือง 12 ฟัน 2 ตัวที่เชื่อมกับโช้เส้นเดียวกันเพื่อที่จะส่งกำลังต่อให้กับเพลลาตัวแรกที่สามารถหมุนได้โดยการยึดเข้ากับตลับลูกปืน 2 ชุดก่อนจะถูกส่งกำลังเข้า Gear box อีกตัวที่มีการทดความเร็วรอบเป็น 1:1 เพื่อเปลี่ยนทิศทางของการหมุนให้กับเพลลาเส้นสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเพลาสันสุดท้ายนี้ก็จะส่งกำลังผ่าน Gear box ตัวสุดท้ายเพื่อเปลี่ยนทิศทางของการหมุนที่ขาออก ซึ่งจะถูกติดตั้งใบมีดสำหรับตัดโคนเอาไว้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองระบบการส่งกำลัง

การวิเคราะห์การตัดเชิงกลที่ขึ้นกับขนาดของตัวแปร ค่าการตัดเชิงกลได้หาค่าโดยใช้เป็นฟังก์ชันของระดับความขึ้นในต้นอ้อยตัวอย่าง เทียบกับขนาดของลำต้น โดยใช้พื้นที่หน้าตัดเพื่อเป็นตัวแปรบอกขนาดของต้นอ้อย ใช้ค่าความแข็งแรงเชิงกลต่างๆเปรียบเทียบเชิงสถิติกับหลาย ๆ ขนาด และค่าระดับความขึ้น ซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลก่อนหน้านี้ดังตารางที่ ซึ่งจะพบว่าแรงที่ใช้ในการตัดอ้อยสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1055 นิวตัน

โดยที่ความเร็วรอบของ Power take off shaft (PTO) ที่ผู้ออกแบบเลือกมาใช้ในการออกแบบ อยู่ที่ 300 rpm ในรถแทรกเตอร์ 80 แรงม้า ซึ่งตามข้อมูลจำเพาะของรถแทรกเตอร์ในหลายยี่ห้อจะสามารถส่งกำลังจากกำลังสูงสุดของรถแทรกเตอร์ได้เพียง 40-50% เท่านั้น เมื่อผ่าน Gear box ตัวแรกแล้วความเร็วรอบของเพลขาออกจะมีค่าเป็นสองเท่าของความเร็วรอบ Power take off shaft (PTO) หรือเท่ากับ 600 rpm และมีกำลังอยู่ที่ 73.6 แรงม้า (32%ของกำลังสูงสุด)

$$P = F \times r \times \omega$$

$$P = \frac{2\pi n T}{60}$$

$$P = \frac{2\pi n T}{60}$$

ดังนั้น

$$n = \frac{P \times 60}{2\pi \times F \times r}$$

$$n = \frac{73.6 \text{ HP} \times 60}{2\pi \times 1055 \times 432.5 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{73.6 \text{ HP} \times 60}{2\pi \times 1055 \times 432.5 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{73.6 \text{ HP} \times 60}{2\pi \times 1055 \times 432.5 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{73.6 \text{ HP} \times 60}{2\pi \times 1055 \times 432.5 \text{ mm}}$$

$$n = 1148.945 \text{ rpm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาความเร็วรอบที่ต้องการใช้ในการตัดโคนอ้อยพบว่าต้องการความเร็วรอบที่ได้จากมีดตัดโคนประมาณ 1150 rpm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเร็วรอบที่ทางคณะผู้วิจัยกำหนดให้กับมีดตัดโคน จึงสรุปได้ว่าการใช้ Gear box ทดความเร็วรอบระหว่างขาเข้าต่อความเร็วรอบขาออกเท่ากับ 1:2 นั้นสามารถใช้งานได้

และจากการลงพื้นที่เพื่อส่งมอบเครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสาบไปในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2565 ที่อำเภอนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์ เมื่อเกษตรกรนำเครื่องตัดอ้อยที่ทางคณะผู้วิจัยส่งมอบไปทดลองใช้งานจริง จะพบว่าโคนต้นอ้อยของภูมิภาคนี้มีความเหนียวกว่าภูมิภาคอื่น จึงทำให้เพลาลิ้นหลักขาด ทางคณะผู้วิจัยได้ทราบถึงปัญหาและทำการแก้ไขปัญหาโดยการเปลี่ยนเกียร์บ็อกซ์เพื่อลดแรงบิดที่เกิดขึ้นกับเพลลา

### 3.1.1.2 ส่วนสาบใบ

การสาบใบถือว่าเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบเครื่องตัดอ้อยสดในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองเปลี่ยนระบบการส่งกำลังระหว่างต้นกำลังกับโมดูลการสาบใบจากที่ใช้โซ่และเฟืองในการขับโมดูลสาบใบ เป็นการนำมอเตอร์ไฮดรอลิกส์มาใช้ขับโมดูลสาบใบ ด้วยลักษณะของอ้อยที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาคสารอาหารที่ต้นอ้อยได้รับทำให้ความเหนียวของใบอ้อยย่อมแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง โดยที่คณะผู้วิจัยคาดหวังว่าการที่นำไฮดรอลิกส์มาขับโมดูลสาบใบในครั้งนี้ จะทำให้สามารถปรับความเร็วรอบของโมดูลสาบใบได้โดยอาศัยอุปกรณ์ปรับอัตราไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยในโมดูลการสาบใบนั้นจำเป็นที่จะต้องมียอเตอร์ไฮดรอลิกส์ 2 ตัวเพื่อควบคุมโมดูลสาบใบของทั้งฝั่งขวาและฝั่งซ้าย ทางคณะผู้วิจัยทำการต่อมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ทั้ง 2 ตัวนี้เป็นอนุกรมกัน เพราะหากต่อมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ทั้ง 2 ตัวเป็นการต่อแบบขนานเมื่อฝั่งใดฝั่งหนึ่งถูกใบอ้อยพันมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ฝั่งนั้นจะหยุดการทำงานทันที การปรับเปลี่ยนระบบการส่งกำลังของโมดูลการสาบใบภายหลังจากที่เปลี่ยนมาใช้ในการส่งกำลังผ่านไฮดรอลิกส์แล้ว ดังแสดงในรูปที่

โดยภายหลังจากการทดลองเปลี่ยนรูปแบบการส่งกำลังของโมดูลการสาบใบเป็นไฮดรอลิกส์พบว่าสามารถที่จะปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ที่ใช้ขับโมดูลการสาบใบได้ผ่านวาล์วปรับอัตราไหล แต่ไม่สามารถสาบใบออกได้อย่างหมดจดเนื่องจากใบอ้อยนั้นมีความเหนียว การหมุนของโมดูลสาบใบนอกจากจะต้องใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมแล้วยังจำเป็นที่จะต้องใช้แรงบิดที่สูงเพื่อให้สามารถสาบใบได้ ซึ่งด้วยข้อจำกัดของการออกแบบที่คณะผู้วิจัยต้องการที่จะลดกำลังที่ต้องใช้สำหรับเครื่องตัดอ้อยสดพร้อมสาบใบเพื่อให้สามารถใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดกลางได้ ทำให้ความดันในระบบที่ออกแบบนั้นมีค่าน้อยเกินไปที่จะสามารถสร้างแรงบิดไปสู่มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ เพื่อทำการสาบใบได้ คณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำวิธีการส่งกำลังโดยใช้โซ่และเฟืองกลับมาใช้งานตามเดิม โดยเน้นไปที่การเลือกใช้วัสดุสาบใบที่เหมาะสมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากสมการ

$$P = F \times r \times \omega$$

$$P = \frac{2\pi n T}{60}$$

$$P = \frac{2\pi n T}{60}$$

$$60$$

ดังนั้น

$$F = \frac{P \times 60}{2\pi \times n \times r}$$

$$F = \frac{73.6 \text{ HP} \times 60}{2\pi \times 1400 \times 240 \text{ mm}}$$

$$F = \frac{73.6 \text{ HP} \times 60}{2\pi \times 1400 \times 240 \text{ mm}}$$

$$F = 1559.819 \text{ N}$$

จากการคำนวณจะพบว่าแรงเชิงเส้นที่ใช้ในการสางใบที่ได้จากเครื่องที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้นมีขนาดประมาณ 1560 N ซึ่งจากการเก็บข้อมูลก่อนหน้านี้โดยการหาแรงเชิงเส้นที่ใช้ในการสางใบนั้นมีค่ามากที่สุดเพียง 40 N นั้นหมายความว่าเครื่องออกแบบกลไกการส่งกำลังมายังโมดูลสางใบโดยใช้การทดเฟืองเพื่อเพิ่มความเร็วรอบดังกล่าว สามารถใช้งานในการสางใบได้

เมื่อ Power take off shaft (PTO) ส่งกำลังมาให้กับ Gear box ชุดแรกซึ่งได้มีการออกแบบเพื่อทดความเร็วรอบของ Power take off shaft (PTO) ต่อความเร็วรอบของ


ตารางที่ 3.2 รายการวัสดุที่ใช้ในการทดลองสางใบ

วัสดุ	รูปภาพ
เอ็นตัดหญ้าแบบกลม ขนาดหน้าตัด 3 มม.	 <p>เอ็นตัดหญ้าแบบกลม ขนาดหน้าตัด 3 มม.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>เอ็นตัดหญ้าแบบเกลียว ขนาด หน้าตัด 3 มม.</p>	 <p>เอ็นตัดหญ้าแบบเกลียว ขนาดหน้าตัด 3 มม.</p>
<p>สายพานร่องA</p>	 <p>สายพานร่องA</p>
<p>PCV waterstop</p>	 <p>PCV waterstop</p>
<p>ซูปเปอร์ลีน ขนาดหน้าตัด 6, 8 และ 10 มม.</p>	 <p>ซูปเปอร์ลีนขนาดหน้าตัด 6, 8 และ 10 มม.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยูรีเทน	 <p data-bbox="1007 607 1086 645">ยูรีเทน</p>
ไฟเบอร์กลาส	 <p data-bbox="970 1070 1129 1108">ไฟเบอร์กลาส</p>
ลวดเหล็ก ขนาดหน้าตัด 6 มม.	 <p data-bbox="874 1619 1225 1657">ลวดเหล็ก ขนาดหน้าตัด 6 มม.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การออกแบบระบบไฮดรอลิกส์

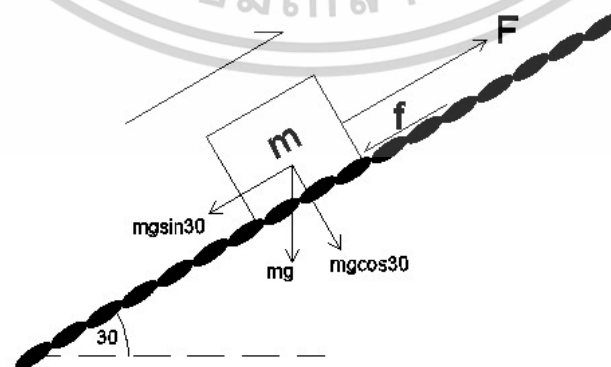
#### 3.1.2.1 การออกแบบมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ในส่วนของกลลำเลียง

ก่อนการออกแบบมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ในส่วนของกลลำเลียงเราจำเป็นต้องรู้แรงดึงในโซ่ลำเลียงเพื่อที่จะได้นำไปหาแรงบิดและความเร็วรอบของระบบลำเลียงเพื่อใช้ประกอบในการเลือกมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ได้

#### 3.1.2.2 การหาแรงดึงโซ่ลำเลียง



รูปที่ 3.4 สายพานลำเลียง



รูปที่ 3.5 แผนภาพ Free body diagram ของสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของนิวตันข้อที่ 1 ( $\Sigma F=0$ )

$$\Sigma F=0; F-f-(m_t g \sin \theta) = 0$$

$$F= f+(m_t g \sin \theta)$$

$$F= \mu N+(m_t g \sin \theta)$$

$$F= \mu m_t g \cos \theta+ m_t g \sin \theta$$

โดย  $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

$m_t$  คือ มวลรวมของทั้งระบบ (kg)

$g$  คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$F$  คือ แรงดึงของโซ่ลำเลียง (N)

$\theta$  คือ องศาที่ระบบลำเลียงทำระนาบกับพื้น ( $^\circ$ )

จาก โซ่ลำเลียงยี่ห้อ SENOCIA Chain NO. C2052 มีน้ำหนักเท่ากับ  $1.26 \text{ kg/m}$  ระบบลำเลียงมีความยาว  $4.8 \text{ m}$  ยางหนึบมี  $80$  ชั้นแต่ละชั้นมีน้ำหนัก  $0.5 \text{ kg}$  สามารถลำเลียงตันอ้อยได้มากที่สุด  $23$  ตันแต่ละตันมีน้ำหนัก  $4 \text{ kg}$

จากสมการ  $m_t =$  มวลรวมของโซ่ลำเลียง + มวลรวมของอ้อย + มวลรวมของยางหนึบ

ดังนั้น มวลรวมของโซ่ลำเลียง เท่ากับ  $1.26 \text{ kg/m} \times 4.8 \text{ m} = 6.048 \text{ kg}$

มวลรวมของยางหนึบ เท่ากับ  $80 \times 0.5 \text{ kg} = 40 \text{ kg}$

มวลรวมของตันอ้อย เท่ากับ  $23 \times 4 \text{ kg} = 92 \text{ kg}$

แทนค่าใน  $m_t = 6.048 + 40 + 92 = 138.048 \text{ kg}$

$$m_t = 138.048 \text{ kg}$$

จากสมการ (1) แทนค่า  $\mu$  ของ Hard steel on hard steel =  $0.78$  ,  $\theta = 30^\circ$  ,  $m_t = 138.048 \text{ kg}$

$$F = (0.78)(138.048)(9.81)\cos 30^\circ + (138.048)(9.81)\sin 30^\circ$$

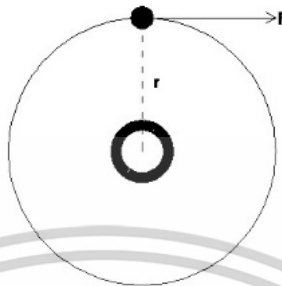
$$F = 1591.92 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงดึงของโซ่ลำเลียงเท่ากับ  $1591.92 \text{ N}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.3 การหาแรงบิดของระบบลำเลียง

หลังจากได้ค่าแรงดึงของโซ่ลำเลียงแล้วเราสามารถหาแรงบิด(torque) ได้เพื่อนำค่าแรงบิดที่ได้  
นำไปเลือกมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ให้สอดคล้องและรองรับกับแรงบิดของระบบได้



รูปที่ 3.6 แผนภาพ Free body diagram ของแกนมอเตอร์ถึงขอบเฟืองในส่วนลำเลียง

จากสมการ  $T = F \times r$

โดย  $T$  คือ แรงบิด(Torque)ของระบบลำเลียง (Nm)

$F$  คือ แรงดึงโซ่ลำเลียง (N)

$r$  คือ รัศมีของเฟืองส่งกำลัง (m)

แทนค่า  $F = 1591.92 \text{ N}$  ,  $r = 0.06 \text{ m}$  ในสมการ  $T = F \times r$

$$T = 1591.92 \times 0.06$$

$$T = 95.52 \text{ Nm}$$

ดังนั้นได้ แรงบิด(Torque) ของระบบลำเลียงเท่ากับ 95.52 นิวตันเมตร

### 3.1.2.4 การหาความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

จากความเร็วของการเก็บเกี่ยวที่ต้องการคือ 12000 ต้นต่อ 1 ชั่วโมง โดยระยะห่างแต่ละต้น  
เท่ากับ 0.1 m ซึ่งสามารถนำไปหาความเร็วของระบบลำเลียงได้  
หาความเร็วรอบของระบบลำเลียงจากความสัมพันธ์

$$12000 \text{ pieces/hr} \times 0.1 \text{ m/piece} \times 1 \text{ hr}/3600 \text{ s} = 0.267 \text{ m/s}$$

ดังนั้นความเร็วของระบบลำเลียงเท่ากับ 0.267 m/s

หาความเร็วรอบของมอเตอร์

จากสมการ  $V = \omega \times r$

$$V = 2\pi f \times r$$

โดย  $V$  คือ ความเร็วของระบบลำเลียง (m/s)

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

$f$  คือ ความถี่ (rev/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$r$  คือ รัศมีเฟืองส่งกำลัง (m)

แทนค่า  $V=0.267$  m/s,  $r = 0.06$  m ในสมการเพื่อหาความเร็วรอบ

$$V = 2\pi f \times r$$

$$0.267 = 2\pi f \times 0.06$$

$$f = 0.78 \text{ rev/s} = 42.6 \text{ rev/min}$$

ดังนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์ เท่ากับ 42.6 rev/min

### 3.1.2.5 การเลือกมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

จากการคำนวณแรงบิด (Torque) เท่ากับ 95.52 Nm และความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์เท่ากับ 50 rpm เพื่อให้จ่ายต่อการนำค่าไปใช้จึงประมาณแรงบิด (Torque) ของระบบลำเลียงเท่ากับ 96 Nm ไปเลือกจาก Catalog มอเตอร์ไฮดรอลิกส์

สรุปได้ว่า มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ที่สอดคล้องกับค่าที่ได้คือยี่ห้อ MAXMA ไฮดรอลิกมอเตอร์ series MAR250 มีอัตราการไหลที่ได้ประมาณ 15 lpm ( $\approx 4$  gpm) และปริมาณการกวาดน้ำมัน ปริมาณ 249.8 cc/rev (15.24 in<sup>3</sup>/rev) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ เท่ากับ 80-85 %

### 3.1.2.6 การหาค่ากำลังที่ใช้ของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

จากสมการ  $\eta_o = \eta_v \eta_m$

โดย  $\eta_o$  คือ ประสิทธิภาพโดยรวมของมอเตอร์

$\eta_v$  คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของมอเตอร์

$\eta_m$  คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของมอเตอร์

แทนค่า  $\eta_o = 0.80$ ,  $\eta_v = 0.95$  ในสมการ

$$0.8 = 0.95 \times \eta_m$$

$$\eta_m = 0.84$$

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงกลของมอเตอร์ไฮดรอลิกคือ 84 %

จากสมการ  $\eta_m = T_T/T_A$

โดย  $\eta_m$  คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของมอเตอร์

$T_T$  คือ แรงบิดจากมอเตอร์ (Nm)

$T_A$  คือ แรงบิดจริง (Nm)

แทนค่า  $\eta_m = 0.84$ ,  $T_T = 96$  Nm ในสมการ

$$\eta_m = \frac{T_T}{T_A}$$

$$T_T = 114.29 \text{ Nm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงบิดที่มอเตอร์ใช้ในการทำงานของระบบลำเลียงอ้อย คือ 114.29 นิวตัน.เมตร

$$\text{จากสมการ } P = T \times \omega$$

โดย  $P$  คือ กำลังที่ใช้ในการหมุน (W)

$T$  คือ แรงบิดของระบบลำเลียง (Nm)

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

แทนค่า  $T = 114.29 \text{ Nm}$ ,  $\omega = 2\pi(0.78) = 4.9 \text{ rad/s}$  ในสมการ

$$P = T_T \times \omega$$

$$P = 114.29 \times 4.9$$

$$P = 0.560 \text{ kW}$$

ดังนั้นกำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ใช้เท่ากับ 0.560 kW

### 3.1.2.7 การหาอัตราการไหลของน้ำมันที่เข้าสู่มอเตอร์ไฮดรอลิกส์

การหาอัตราการไหลน้ำมันนั้นเพื่อหาปริมาณน้ำมันที่ปั๊มไฮดรอลิกต้องจ่ายให้กับระบบจาก

สมการ

$$Q_T = \frac{V_D \times N}{231}$$

โดย  $Q_T$  คือ อัตราการไหลน้ำมันทางทฤษฎี (gpm)

$V_D$  คือ ปริมาณการกวาดน้ำมันต่อรอบ ( $\text{in}^3/\text{rev}$ )

$N$  คือ จำนวนรอบ (rev)

แทนค่า  $V_D = 15.24 \text{ in}^3/\text{rev}$ ,  $N = 50 \text{ rev}$  ในสมการจะได้

$$Q_T = \frac{15.24 \times 50}{231}$$

$$Q_T = 3.30 \text{ gpm}$$

หาอัตราการไหลน้ำมันจริงที่ใช้ในระบบไฮดรอลิกส์ โดยประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ 95 % จากสมการ

$$\eta_v = \frac{Q_T}{Q_A}$$

โดย  $\eta_v$  คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของมอเตอร์

$Q_T$  คือ อัตราการไหลน้ำมันทางทฤษฎี (gpm)

$Q_A$  คือ อัตราการไหลน้ำมันจริง (gpm)

แทนค่า  $\eta_v = 0.95$ ,  $Q_T = 3.30 \text{ gpm}$  ในสมการ

$$Q_A = 3.30/0.95$$

$$Q_A = 3.50 \text{ gpm}$$

ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำมันในส่วนลำเลียงอ้อยคือ 3.50 แกลลอนต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.8 การหาความดันของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

หาความดันของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ได้จากสมการ

$$T_T = \frac{V_D \times P}{2\pi}$$

โดย  $T_T$  คือ แรงบิดจากมอเตอร์ (Nm)

$V_D$  คือ ปริมาณการกวาดน้ำมันต่อรอบ

$P$  คือ ความดัน (Pa)

แทนค่า  $T_T = 115 \text{ Nm}$ ,  $V_D = 249.8 \text{ cc/rev}$  ในสมการจะได้

$$115 = \frac{\frac{249.8}{10^6} \times P}{2\pi}$$

$$P = 2.89 \text{ MPa}$$

ดังนั้นความดันที่มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ใช้ในการทำงาน คือ 2.89 MPa หรือ 28.9 bar

### 3.1.2.9 การออกแบบกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ในส่วนของกำลัเคียง



รูปที่ 3.7 กระบอกสูบที่ใช้รับน้ำหนักกระเบ

การออกแบบกระบอกสูบไฮดรอลิกส์สำหรับรับน้ำหนักอ้อยและกระเบเก็บ 1 ตัน ความยาวช่วงชักในการทำงาน 12 นิ้ว ก้านสูบเคลื่อนที่ออกไปด้วยความเร็ว 60 นิ้ว/นาที และเคลื่อนที่กลับด้วยความเร็วประมาณ 120 นิ้ว/นาที คำนวณหา พื้นที่กระบอกสูบ ( $A_c$ ) ที่จะใช้งานจากสมการ

$$A(\text{in}^2) = \frac{F (\text{lbs})}{P (\text{lb/in}^2)}$$

มาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดก้านสูบ จะเลือกขนาดของกระบอกสูบได้โดยดูว่ากระบอกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะทำงานด้วยความดันต่ำ แต่ต้องปั๊มที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้กระบอกสูบมีความเร็วตามต้องการ และในทางตรงกันข้ามกระบอกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะต้องทำงานด้วยความดันสูงและใช้ปั๊มขนาดเล็กกว่า แต่วงจรที่ทำงานด้วยความดันสูง ๆ จะไม่ดี จึงควรเลือกทำงานที่ความดันพอเหมาะ โดยพิจารณาดูว่าที่ระดับความดันใช้งานที่เลือกนั้น จะต้องได้กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปัมป์ วาล์วควบคุม และท่อทางทั่ว ๆ ไปที่มีและจำหน่ายกันอยู่ปั๊มไฮดรอลิกส์ทั่วๆ ไปที่มีใช้จะกำหนดค่าความดันสูงสุดในการใช้งานอยู่ที่ 3000 psi แต่ความดันที่ใช้ค่าประมาณ 800 psi จะเหมาะสมกว่าเนื่องจากเป็นความดันที่เหลือจากในมอเตอร์ จึงเลือกที่ความดันต่ำจากสมการ

$$A_C = \frac{F_C}{P_C} = \frac{F_{load}}{P_C}$$

$$A_C = 2.755 \text{ in}^2$$

คำนวณหาขนาดกระบอกสูบ (D<sub>c</sub>) ได้จากสมการการหาพื้นที่วงกลม จะได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ควรมีขนาด 1.873 นิ้ว เมื่อพิจารณาขนาดกระบอกสูบแล้ว ขนาด 1.873 in ไม่มีใช้จึงเลือกใช้ขนาด 2 in

หาขนาดก้านสูบ เนื่องจากความเร็วถอยกลับจะมีค่าประมาณ 2 เท่าของความเร็วตอนเคลื่อนออกดังนั้นพื้นที่สุทธิของกระบอกสูบด้านที่มีก้านสูบจะต้องเป็น 1/2 ของพื้นที่ลูกสูบและเนื่องจากพื้นที่ลูกสูบเท่ากับผลรวมของพื้นที่ก้านสูบกับพื้นที่สุทธิของกระบอกสูบด้านที่มีก้านสูบ

พื้นที่กระบอกสูบขนาด 2 in = 3.142 in<sup>2</sup>  
 พื้นที่ก้านสูบ (rod area) = 0.5 x 3.142 in<sup>2</sup>  
 พื้นที่ก้านสูบ = 1.571

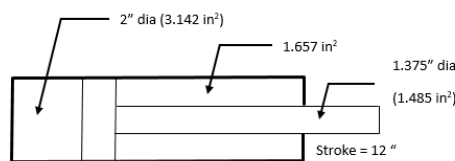
$$D_{Rod} = 2 \times \sqrt{\frac{A_{Rod}}{\pi}}$$

ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบควรมีขนาด 1.414 นิ้ว แต่ก้านสูบขนาด 1.414 in เป็นขนาดที่ไม่มีใช้ จึงเลือกใช้ขนาดก้านสูบ 1 3/8 นิ้ว แทน พื้นที่ก้านสูบขนาด 1 3/8 สามารถหาได้จาก

$$A_{Rod} = \frac{\pi \times 1.375^2}{4}$$

$$A_{Rod} = 1.485 \text{ in}^2$$

พื้นที่สุทธิของกระบอกสูบด้านที่มีก้านสูบจะเท่ากับพื้นที่ทั้งหมดของกระบอกสูบหักลบกับพื้นที่ของก้านสูบ ซึ่งเท่ากับ 1.657 ตารางนิ้ว ซึ่งมีขนาดมากกว่า 1/2 เท่าของพื้นที่กระบอกสูบ ความเร็วในการถอยกลับของกระบอกสูบจึงมีความเร็วมากกว่าความเร็วหดตัวของกระบอกสูบมากกว่า 2 เท่า



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของกระบอกสูบที่ใช้รับน้ำหนักกระเบ้อ๊ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาอัตราการไหลสำหรับความเร็วที่กำหนดจากสมการ

$$Q = \frac{A(\text{in}^2) \times v \left(\frac{\text{in}}{\text{min}}\right)}{231}$$

$$Q = 0.816 \text{ gpm}$$

ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบ เท่ากับ 0.816 แกลลอนต่อ นาที

### 3.1.2.10 การคำนวณหาปั๊มไฮดรอลิกส์

จากแคตตาล็อกปั๊มของบริษัท Caproni ปั๊มหมายเลข 30A©714XH มีอัตราการกวาดน้ำมันอยู่ที่ 55 cc/rev (0.0146 gallon/rev) ให้ความดันที่  $P = 14 \text{ Mpa}$  โดยรวมกับความดันลดในท่อกับ อุปกรณ์ต่างๆในระบบ และมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊ม  $\eta_v$  เท่ากับ 95%

จากสมการ

$$\eta_v = \frac{Q_A}{Q_T}$$

เมื่อ  $\eta_v$  คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊ม

$Q_T$  คือ อัตราการไหลตามทฤษฎี

$Q_A$  คือ อัตราการไหลที่ได้จริง

โดยอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่เข้ามาที่สุดคือ 12 GPM คืออัตราการไหลที่แท้จริงสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ปั๊มต้องการใช้ได้

$$Q_T = \frac{12 \text{ GPM}}{0.95}$$

$$Q_T = 12.63 \text{ GPM}$$

ดังนั้น อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ต้องได้จากปั๊มไฮดรอลิกส์ คือ 12.63 GPM และปั๊มไฮดรอลิกส์มีอัตราการกวาดน้ำมันอยู่ที่ 0.0146 gpr จึงคำนวณหาความเร็วรอบของปั๊มได้จาก

$$12.63 \text{ gpm} = 0.0146 \text{ gpr} \times N \text{ rpm}$$

$$N = 865 \text{ rpm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกความเร็วรอบที่ 1300 รอบต่อนาที เนื่องจากความเร็วที่เหมาะสมในการขับเคลื่อนปั๊มไฮดรอลิกส์ควรอยู่ในช่วง 1200-2000 รอบต่อนาที จึงทดเป็นอัตราส่วน 5:12 กับความเร็วรอบของเพลลาอำนาจกำลัง ทำให้ปั๊มสร้างอัตราการไหลจริงได้  $Q_A$  เท่ากับ 18 GPM และมีอัตราการไหลตามทฤษฎี  $Q_T$  เท่ากับ 19 GPM

จากสมการ

$$\eta_m = \frac{T_A}{T_T} = \frac{PQ_T}{NT_A}$$

เมื่อ  $\eta_m$  คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของปั๊ม

$P$  คือ ความดันด้านจ่ายของปั๊ม (Pa)

$Q_T$  คือ อัตราการไหลตามทฤษฎี ( $m^3/s$ )

$T_A$  คือ แรงบิดจริงที่ต้องให้กับปั๊ม (Nm)

$N$  คือ ความเร็วรอบของปั๊ม (rad/s)

ประสิทธิภาพเชิงกลของปั๊ม อยู่ในช่วง 90% – 95% เลือกประสิทธิภาพเชิงกลของปั๊มที่  $\eta_m$  อยู่ที่ 90%

แทนค่า

$$0.9 = \frac{(5 \times 10^6 \text{ Pa}) \left( \frac{72 \text{ m}^3}{60000 \text{ s}} \right)}{T_A \left( \frac{1300 \times 2\pi \text{ rev}}{60 \text{ s}} \right)}$$

$$T_A = 137.118 \text{ Nm}$$

รถแทรกเตอร์ขนาด 80 แรงม้า จะให้แรงม้าเพลลาอำนาจกำลัง(เพลลา PTO) = 73.6 แรงม้า

จากสมการ

$$\text{Power(W)} = T \text{ (Nm)} \times \omega \text{ (rad/s)}$$

$$73.6 \text{ HP} = T \times \left( \frac{540 \times 2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \right)$$

$$T = 971 \text{ Nm}$$

เนื่องจากต้องการทดรอบของเพลลาอำนาจกำลังเข้าสู่ปั๊มด้วยเฟืองทดเป็นอัตราส่วน 1:3 ทำให้แรงบิดที่ออกจากเฟืองทดมีค่าเป็น 5/12 เท่าจากแรงบิดของเพลลาอำนาจกำลัง ดังนั้นแรงบิดจริงที่ได้จากเพลลาอำนาจกำลัง ผ่านเฟืองทดแล้วนำไปขับปั๊มมีค่าเท่ากับ 404.56 Nm (กรณีไม่มีการสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงาน) ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงบิดที่ต้องให้กับปั๊ม คือ 138 Nm ดังนั้นเพลลาอำนาจกำลังและเฟืองทดนี้สามารถเป็นต้นกำลังให้กับปั๊มไฮดรอลิกส์นี้ได้

### 3.1.2.11 การคำนวณหา Friction loss ในระบบไฮดรอลิกส์

Friction loss คือการสูญเสียของพลังงานหรือ "หัว" ของการไหลในท่อ เกิดจากผลของความหนืดที่กระทำต่อพื้นผิวภายในของท่อที่เรียกว่า "การสูญเสียหลัก (major loss)" รวมกับการสูญเสียของพลังงานจากสิ่งกีดขวางในระบบท่อ ที่เรียกว่า "การสูญเสียรอง (minor loss)" เช่น ข้อต่อ วาล์ว ตะแกรงกรอง รวมกันกลายเป็น "การสูญเสียความฝืดรวม"

Friction loss ในระบบสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

Major loss

$$\frac{\Delta h}{L} = f \times \frac{1}{2g} \times \frac{V^2}{D}$$

เมื่อ  $\Delta h$  คือ head loss (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

f คือ friction loss

g คือ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง ( $m/s^2$ )

v คือ ความเร็วในการไหลของน้ำมันในท่อ (m/s)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไฮดรอลิกส์ (m)

Minor loss

$$\Delta h_m = \sum K \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ  $\Delta h_m$  คือ head loss ในอุปกรณ์ต่างๆ (m)

K คือ สัมประสิทธิ์ minor loss สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ

g คือ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง ( $m/s^2$ )

v คือ ความเร็วในการไหลของน้ำมันในท่อ (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่า Major loss ในส่วนต่างๆของระบบ

	ID (mm)	Q(GPM)	V(m/s)	Re	Friction factor	Head loss (m)
ท่อด้านจ่ายของปั๊ม	20.32	19	3.70	751.1072	0.085	6.132
ท่อเข้ามอเตอร์ลำเลียง1	9.398	4	3.64	341.898	0.187	26.872
ท่อเข้ามอเตอร์ลำเลียง2	9.398	4	3.64	341.898	0.187	34.934
ท่อออกจากมอเตอร์ลำเลียง1	9.398	4	3.64	341.898	0.187	29.559
ท่อออกจากมอเตอร์ลำเลียง2	9.398	4	3.64	341.898	0.187	37.621
ท่อเข้ากระบอกลูกสูบกระบะ	4.318	0.816	3.52	151.8027	0.422	129.161
						264.280

ตารางที่ 3.4 ค่า Minor loss ในส่วนต่างๆของระบบ

	ID (mm)	Q(GPM)	V(m/s)	Qty'	K	Head loss
ท่อด้านจ่ายของปั๊ม						
90 elbow	20.32	19	3.696	6	0.3	0.339
ท่อเข้ามอเตอร์ลำเลียงตัวที่1						
90 elbow	9.398	4	3.64	2	0.3	0.111
Tee	9.398	4	3.64	1	0.2	0.037
ท่อเข้ามอเตอร์ลำเลียงตัวที่2						
90 elbow	9.398	4	3.638	5	0.3	0.278
Tee	9.398	4	3.638	1	0.2	0.037
ท่อออกจากมอเตอร์ลำเลียงตัวที่1						
90 elbow	9.398	4	3.638	5	0.3	0.278
Tee	9.398	4	3.638	1	0.2	0.037
ท่อออกจากมอเตอร์ลำเลียงตัวที่2						
90 elbow	9.398	4	3.638	6	0.3	0.334
Tee	9.398	4	3.638	1	0.2	0.037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อเข้าลูกสูบกระบะ						
90 elbow	4.318	0.816	3.516	6	0.3	0.323
90 return bend	4.318	0.816	3.516	1	0.2	0.036
						1.847

ตารางที่ 3.5 ค่า Minor loss ในวาล์วต่างๆของระบบ

Valve	Pressure drop (bar)	Head loss (m)
Flow Control Valve	5	56.631
Directional control valve	0.96	10.873
		67.504

Head loss () = Major loss + Minor loss in fitting

ดังนั้น Head loss ของทั้งระบบมีค่าเท่ากับ 335 m

pressure loss ของทั้งระบบมีค่าเท่ากับ 2.95 MPa

### 3.1.2.12 อุปกรณ์ต่างๆในระบบไฮดรอลิกส์

#### 1. ถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์

การออกแบบถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์นั้นควรออกแบบให้ถังพักน้ำมันมีขนาดเป็น 3 เท่าของอัตราการไหลของปั๊ม เพื่อสำรองน้ำมันให้เพียงพอสำหรับใช้ในระบบไฮดรอลิกส์และเพื่อเป็นที่ระบายความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิกส์ แต่เนื่องจากเครื่องตัดและสางใบอ้อยมีขนาดพื้นที่จำกัด จึงออกแบบขนาดถังน้ำมันให้มีขนาด 1 เท่าของอัตราการไหลน้ำมัน ซึ่งเท่ากับ 72 ลิตร

ดังนั้นจึงออกแบบถังพักน้ำมันให้มีขนาด 400x400x500 มิลลิเมตร เพื่อให้ถังบรรจุน้ำมันสามารถบรรจุน้ำมันได้ 0.08 m<sup>3</sup> หรือ 80 L



รูปที่ 3.9 ถังพักน้ำมัน

## 2. ตัวกรองน้ำมันไฮดรอลิกส์

ตัวกรองน้ำมันมีความสำคัญในระบบไฮดรอลิกส์เนื่องจากป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ เช่น ปั๊ม วาล์ว มอเตอร์ เป็นต้น และงานที่ใช้ในระบบถือเป็นการสกปรกที่อาจมีเศษอ้อยเข้าไปในระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงเลือก ตัวกรองน้ำมันไฮดรอลิก ยี่ห้อ K- FLO รุ่น KH-591



รูปที่ 3.10 ตัวกรองน้ำมัน ยี่ห้อ K- FLO รุ่น KH-591

## 3. วาล์วและอุปกรณ์ต่างๆ

pilot operated relief valve เลือกยี่ห้อ CROSS รุ่น BT-06-H-55



รูปที่ 3.11 pilot operated relief valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. Flow control valve



รูปที่3.12 Flow control valve

## 5. Monoblock directional control valve เลือกยี่ห้อ MAXMA รุ่น MB4/2-G-21-A1L1



รูปที่3.13 directional control valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.2 การทดสอบเครื่องตัดอ้อย

เครื่องตัดอ้อยนี้ทดสอบการทำงานร่วมกับรถแทรกเตอร์ FORD 7740 ที่มีกำลังอยู่ที่ 86 แรงม้าโดยมีอัตราทดเพลลาอำนวยการกำลัง 2 อัตราทด ได้แก่อัตราทดรอบต่ำ มีความเร็วรอบอยู่ที่ 540 รอบต่อนาที และอัตราทดรอบสูง มีความเร็วรอบอยู่ที่ 1000 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องที่ใช้วัดความเร็วรอบ

โดยแบ่งการทดสอบเป็นการทดสอบ 3 การทดสอบดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 การทดสอบความคงทนของเครื่องตัดอ้อย Endurance test

การทดสอบโดยการเดินเครื่องเปล่า 24 ชั่วโมง อัตราการความเร็วรอบของเพลลา PTO ต่อเพลลาที่ใช้ในการสางใบเป็น 3:14 โดยสังเกตการทำงานโดยรวมของเครื่องจักร ความสิ้นเปลืองของกลไก และวัดความเร็วรอบของเพลลาแต่ละเพลลา เพื่อนำมาแก้ไขข้อบกพร่องก่อนนำไปใช้งานเก็บเกี่ยวจริง

#### 3.2.2 การทดสอบโดยการใช้งานจริง Field test

การทดสอบโดยการเก็บเกี่ยวต้นอ้อยพันธุ์ขอนแก่น ในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ โดยดูที่การทำงานโดยรวมของเครื่อง และคุณภาพของการเก็บเกี่ยว

#### 3.2.3 การทดสอบวัสดุสางใบ

ใช้วัสดุที่เลือกมาใช้ในการทำวัสดุสางใบโดยตัดให้ความยาวของวัสดุสางใบมีความยาวอยู่ที่ 0.5 เมตร โดยประเมิน ประสิทธิภาพการสางใบโดยการสังเกตลำต้นอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยวว่ามีใบอ้อยติดมากน้อยเพียงใด รวมถึงประเมินความคงทนของวัสดุสางใบแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

หลักการทำงานและสมรรถนะของเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยและสางใบอ้อย ในการใช้เครื่องเริ่มจากนำติดตั้งเข้ากับรถแทรกเตอร์โดยต่อเข้ากับเพลลาอำนาจกำลังและยึดเครื่องให้เรียบร้อย เริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ต้นกำลัง และต่อระบบส่งกำลังโดยการโยกคันส่งกำลังลง จะทำให้ระบบสายพานส่งกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังส่งไปยังชุดเพลลาอำนาจกำลังส่งเข้าเฟืองทดก่อนเข้าชุดสางใบอ้อย และป้อนไฮดรอลิกส์ส่งน้ำมันไฮดรอลิกส์ไปที่ ส่วนลำเลียง และกระบะบอกลูก หลังจากนั้นทำการเตรียมการเก็บเกี่ยวโดยการจัดการพื้นที่ให้รถแทรกเตอร์ทำงานได้สะดวก เริ่มการตัดโดยต้นอ้อยเข้ามาที่ส่วนสางใบอ้อยทำการสางโดยติดชุดสางกับจานหมุนเหวี่ยง เมื่อทำการสางเรียบร้อย ต้นอ้อยเข้าสู่ชุดลำเลียงที่ใช้สายพานโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนส่งกำลังก่อนเข้าสู่กระบะเก็บอ้อย เมื่อทำการเก็บอ้อยได้ปริมาณตามที่ต้องการสามารถเปิดกระบะด้วยกระบะบอกลูกไฮดรอลิกส์เพื่อนำต้นอ้อยออกจากกระบะ

การทดสอบเครื่องตัดอ้อย ทางผู้จัดทำได้ทำการแยกผลของการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบเดินเครื่องเปล่า การทดสอบโดยนำไปตัดอ้อยจริงในไร่ และการทดสอบเพื่อหาวัสดุสางใบโดยเฉพาะ โดยใช้งานในรอบของความเร็วนเพลลาอำนาจกำลังต่ำ(540 รอบต่อนาที) และที่ความเร็วรอบสูง(1000 รอบต่อนาที)



รูปที่ 4.1 ภาพตัวเครื่องขณะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 ผลการทดลอง

การทดสอบเครื่องตัดอ้อย ทางผู้จัดทำได้ทำการแยกผลของการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบเดินเครื่องเปล่า การทดสอบโดยนำไปตัดอ้อยจริงในไร่ และการทดสอบเพื่อหาวัสดุสางใบ โดยเฉพาะ โดยใช้งานในรอบของความเร็วนอกอานวนยกำลังต่ำ(540 รอบต่อนาที) และที่ความเร็วรอบสูง(1000 รอบต่อนาที)

##### 4.1.1 ผลการทดลองการเดินเครื่องเปล่า

ใช้อัตราทดความเร็วรอบของเพลลา PTO ต่อเพลลาที่ใช้ในการสางใบเป็น 1:10 โดยใช้งานในรอบของความเร็วนอกอานวนยกำลังต่ำ(540 รอบต่อนาที) และที่ความเร็วรอบสูง(1000 รอบต่อนาที)

ตารางที่ 4.1 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขเมื่อทดลองเดินเครื่องเปล่า

ปัญหา	การแก้ไข
1. อัตราทดเฟืองสางใบเป็น 1:10 ทำให้เครื่องมีการสั่นอย่างรุนแรง	ปรับลดอัตราทดเฟืองลง เป็น 1:2 และ 1:1 ตามลำดับ รอททดสอบผลกับการตัดอ้อยจริง
2. ตัวเครื่องเอียงเมื่อทำการยกเพื่อเคลื่อนย้าย	ย้ายฐานล้อใหม่เพื่อปรับสมดุล
3. วัสดุที่ใช้ในการสางใบพันกัน	หาวัสดุสางใบเพื่อนำมาทดลองเพิ่ม

##### 4.1.2 ผลการทดสอบการทดลองเก็บเกี่ยวจริง

ตารางที่ 4.2 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขเมื่อนำไปใช้งานจริง

ปัญหา	การแก้ไข
1. ใบอ้อยที่เหลือจากการสางใบเข้าไปพันกับเพลลาที่ใช้หมุนในการสางใบ	ใส่ที่กั้นให้เพลลาขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ใบพันกับเพลลาได้ยาก
2. ใบอ้อยที่เหลือจากการสางหล่นลงไปติดในโซ่ เฟือง และแบร์ริง	สร้างที่ครอบเพื่อป้องกันส่วนต่างๆ
3. เพลลาสางใบที่ฝังซ้ายอยู่ใกล้คนขับมาก อาจทำให้คนขับเกิดอันตรายได้	ปรับให้เหลือที่เพลลาสางใบไว้ด้านขวาเพียงด้านเดียว
4. บริเวณโคนต้นอ้อยมีเศษใบหลงเหลืออยู่เล็กน้อย	เพิ่มที่สางใบด้านล่างก่อนเข้ากระบะ
5. อ้อยบางต้นล้มไปด้านหน้า ไม่เข้าสู่สายพานลำเลียง	เลื่อนจานตัดโคนอ้อยไปด้านหลังเพื่อให้สายพานลำเลียงหนีบต้นอ้อยก่อนทำการตัดโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การขั้บคาคคะเนระยะให้แนวต้นอ้อยเข้าสายพานลำเลียงทำได้ยาก	สร้างแนวกันที่ด้านหน้าเพื่อให้อ้อยเข้าสู่เครื่องง่ายขึ้นและง่ายต่อคนขั้บ
7. ไม่สามารถตัดยอดของต้นอ้อยได้ เพราะต้นอ้อยมีขนาดเตี้ยเกินไป	ปรับตำแหน่งการตัดยอดให้ต่ำลง

#### 4.1.3 ผลการทดสอบวัสดุการสางใบ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัสดุสางใบ

ชนิดของวัสดุสางใบ	ผลการทดสอบ		หมายเหตุ
	ความสะอาดในการสางใบ(%)	ความคงทนในการใช้งาน(นาทึ)	
เอ็นตัดหญ้า (Φ 3 มิลลิเมตร)	50	15	ทุกชนิดมีการพันกันขณะใช้งาน
-แบบกลม	70	5	
-แบบเหลี่ยม			
สายพานแบบร่อง A	90	90	-
ยูริเทน	-	0	ขาดก่อนที่จะเริ่มใช้งานจริง
PVC water stop	-	0	ขาดก่อนที่จะเริ่มใช้งานจริง
ซูปเปอร์ลิน			ขนาด Φ 10 มิลลิเมตร เมื่อใช้ไปสักระยะหนึ่งจะเกิดการงอ เมื่อนำมาตัดสามารถคืนสภาพได้
-Φ 6 มิลลิเมตร	90	50	
-Φ 8 มิลลิเมตร	90	50	
-Φ 10 มิลลิเมตร	90	55	
ไฟเบอร์กราส	95	120	แข็งเกินไปทำให้ต้นอ้อยเสียหาย
ลวด	95	120	เมื่อใช้งานสักพักเกิดการเสียสภาพ และไม่คืนตัว

\*หมายเหตุ ความสะอาดในการสางใบที่เหมาะสมสำหรับส่งโรงงานคือ 90% ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าและจุดคุ้มทุน

จากผลการทำงานทดลองข้างต้นซึ่งนำมาหาจุดคุ้มทุนในการซื้อเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยจากข้อมูลราคาขายและต้นทุนรวมในการปลูกต้นอ้อยดังนี้

**ตารางที่ 4.4** แสดงรายได้หลังหักค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวโดยเปรียบเทียบที่ 8 ไร่ ต่อวัน

เทียบอัตราการเก็บเกี่ยวที่ 8 ไร่ต่อวัน(100ตัน)		
ชนิดของการตัด	ใช้คน	ใช้เครื่อง
จำนวน	100	1
ค่าแรงต่อคน(บาท/วัน)	170	1000
ปริมาณการตัด(ตัน/วัน)	100	100
ค่าน้ำมัน (บาท/วัน)	-	3800
ราคาอ้อย (บาท/ตัน)	อ้อยไฟไหม้ 910	อ้อยสด 1020
รวมราคาอ้อยที่ได้แต่ละวัน	91000	102000
ค่าใช้จ่ายต่อวัน(บาท/วัน)	17000	4800
รายได้หลังหักค่าใช้จ่าย(บาท/ตัน)	740	972

จะเห็นได้ว่าใน 1 วันเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยสดสามารถตัดได้ที่ 100 ตัน แต่คนส่วนใหญ่จะรับเก็บเกี่ยวเป็นอ้อยไฟไหม้ซึ่งง่ายต่อการเก็บเกี่ยวมากกว่าอ้อยสดซึ่งอัตราในการเก็บเกี่ยวต่อคนคือ 1 ตันต่อวัน โดยต้องใช้ 100 คนถึงจะได้ 100 ตันต่อวันดังนั้นค่าใช้จ่ายในการจ่ายค่าแรงคนงานจึงสูงกว่าใช้เครื่องตัดอ้อยมากทำให้รายได้ในการรายได้หลังหักค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวจากการใช้คนงานและเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยคือ 740 และ 972 บาทต่อตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงต้นทุนรวมในการปลูกต้นอ้อยต่อไร่

รายการ	ต้นทุน(บาท/ไร่)			
	อ้อยปลูกใหม่	อ้อยต่อปี1	อ้อยต่อปี2	อ้อยต่อปี3
1. ต้นทุนผันแปร				
1.1 ค่าแรง				
1.เตรียมดิน	867.13	0.00	0.00	289.04
2.เตรียมพันธุ์ปลูก	413.55	0.00	0.00	137.85
3.การปลูก	775.35	0.00	0.00	258.45
4.การบำรุงดูแล	617.37	513.56	513.56	548.16
5.การเก็บเกี่ยว	2406.50	1913.00	1913.00	2077.50
รวม	5079.90	2426.56	2426.56	3311.00
1.2 ค่าวัสดุ				
1.ค่าพันธุ์อ้อย	1818.18	218.18	309.09	781.82
2.ค่าปุ๋ย	2285.54	2285.54	2285.54	2285.54
3.ค่ายาปราบวัชพืช	296.71	296.71	296.71	296.71
4.วัสดุสิ้นเปลือง	106.62	66.73	65.89	79.75
รวม	4507.05	2867.16	2957.23	3443.82
ค่าจัดการบริหาร(7%ของต้นทุนแปรผัน)	355.59	169.86	169.86	231.77
2. ต้นทุนคงที่				
1.ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือและอุปกรณ์	245.89	173.88	190.80	203.52
2.ค่าเช่าที่ดิน	1232.14	1232.14	1232.14	1232.14
รวม	1478.03	1406.02	1422.94	1435.66
ต้นทุนรวมต่อไร่	11420.57	6869.60	6976.59	8422.25
ผลผลิตต่อไร่ (ต้น/ไร่)	12.50	12.50	12.50	12.50
ต้นทุนรวมต่อต้น(บาท/ต้น)	913.65	549.57	558.13	673.78

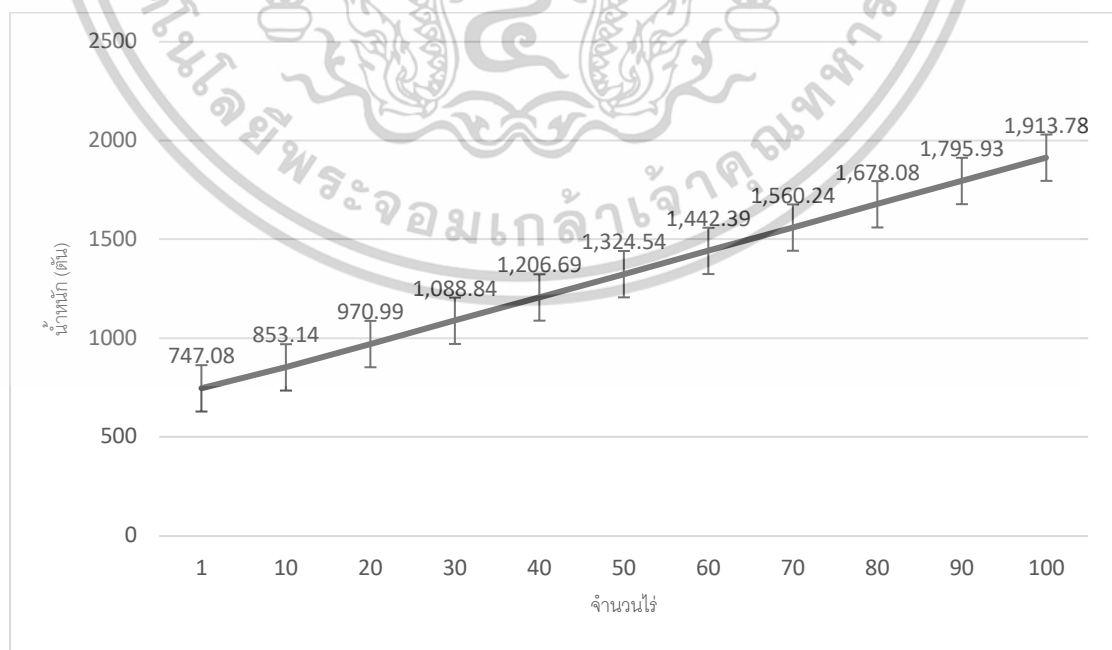
จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าต้นทุนรวมต่อไร่ในการปลูกต้นอ้อยตั้งแต่เริ่มปลูกใหม่ถึงปีที่3 นั้น โดยมีต้นทุนรวมต่อไร่มากที่สุดในปีแรกที่ปลูก คือ 11420.57 บาทต่อไร่หรือ 913.65 บาทต่อต้น และลดลำดับในปีต่อมา ซึ่งทำการหาจุดคุ้มทุนในปีแรกโดยเปรียบเทียบกับจำนวนไร่ที่เกษตรกรทำการปลูกอ้อยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อย	750000	บาท
ราคาขายอ้อยสด	1020	บาท/ตัน
ต้นทุนรวมในการปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อยสดในปีแรก	12020.57	บาท/ไร่

ตาราง4.6 เปรียบเทียบจำนวนไร่ในการปลูกและจุดคุ้มทุน

จำนวนไร่	จุดคุ้มทุน(ตัน)
1	747.08
10	853.14
20	970.99
30	1,088.84
40	1,206.69
50	1,324.54
60	1,442.39
70	1,560.24
80	1,678.08
90	1,795.93
100	1,913.78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การวิจารณ์และอภิปรายผล

จากการศึกษาและออกแบบเครื่องตัดอ้อยต้นแบบ โดยเริ่มต้นสร้างจากโปรแกรม Solidworks ได้โครงสร้างรถต้นแบบออกมา ได้นำไปสร้างเป็นรถตัดอ้อยของจริง พบปัญหาหลายอย่าง เช่น ไม่สามารถหาสินค้าในยี่ห้อที่ได้ออกแบบไว้จึงทำการปรับเปลี่ยนโดยใช้สิ่งเทียบเคียงมาทดแทน หลังจากนั้นได้เริ่มต้นการทดสอบโดยการดูการทำงานของเครื่องในขณะที่อยู่หนึ่ง จากผลการทดสอบข้างต้น ได้ทำการแก้ไขตามสถานการณ์ เนื่องจากยังเป็นเครื่องต้นแบบอยู่จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนให้ใช้งานได้เพียงเบื้องต้น แต่ยังสามารถส่งกำลังและทำได้ต่อเนื่องตามทฤษฎีการคำนวณ

การทดสอบในสถานที่จริงในไร่รวมประมาณ 48 ชั่วโมง เครื่องตัดอ้อยต้นแบบสามารถทำงานได้ดี ไม่มีชิ้นที่พังหรือเสียหายตลอดการทดสอบ สามารถตัดอ้อยได้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจ และทำงานได้ต่อเนื่อง

จากการทดสอบเพื่อหาวัสดุในการสร้างใบที่เหมาะสม ได้มีการนำวัสดุต่างๆที่สามารถหาซื้อได้ง่าย เพื่อให้ตอบสนองต่อจุดประสงค์ที่ต้องการให้เครื่องตัดอ้อยราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ผู้จัดทำได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องของแต่ละวัสดุกับผลการทดลอง โดยสรุปได้ดังนี้ ในการหาวัสดุต่อไปควรพิจารณาคุณสมบัติดังนี้ ควรมี Tensile strength มากกว่า 3700 psi และสามารถรองรับค่า Shear strength ได้ไม่ต่ำกว่า 10000 psia เพื่อไม่ให้วัสดุขาดขณะหมุนและสร้างใบ ,ควรมีค่า Hardness ต่ำกว่า Rockwell M110 วัสดุจะไม่แข็งเกินไปจนทำให้ต้นอ้อยเสียหาย และค่า Flexural Modulus of Elasticity ประมาณ 450,000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

เครื่องตัดอ้อยที่ได้ออกแบบมานั้นมีโครงสร้างอย่างง่าย มีความแข็งแรง ต้นทุนต่ำและสามารถดูแลได้ง่าย หลังจากการทดสอบเครื่องตัดอ้อยที่ไร้ทดสอบพบว่า เครื่องตัดอ้อยที่ได้ สามารถเชื่อมต่อและใช้กำลังจากรถแทรกเตอร์ที่มีกำลัง 80 แรงม้าขึ้นไป โดยโครงสร้างทั้งหมดทำงานได้ลื่นไหลทั้งระบบ ไม่มีชิ้นส่วนใดพังตลอดการทดลองใช้งาน 48 ชั่วโมง และการทำงานที่เหมาะสมที่สุดในอยู่ที่ของเพลลาอำนาจกำลัง 300 รอบต่อนาที อัตราทดรอบของเพลลาอำนาจกำลังและเพลลาที่ใช้ในการตัดโคนเป็น 1:2 โดยให้อ้อยเข้าสายพานลำเลียงก่อนแล้วจึงทำการตัดโคนเพื่อที่อ้อยจะได้ไม่ล้มนก่อนเข้าสายพานลำเลียง และที่อัตราทดรอบของเพลลาอำนาจกำลังและเพลลาที่ใช้ในการสางใบ 3:14 เนื่องจากหากรอบของเพลลาสางใบมีมาก จะทำให้เครื่องเกิดการสั่นมากเกินไป

การพัฒนาตัวโครงสร้างพบว่า วัสดุที่ใช้ในการสางใบดีที่สุดที่เพลลาอำนาจกำลัง 300 รอบต่อนาที คือ สายพานร่อง A เนื่องจากมีทั้งความแข็งแรงและความเหนียวของวัสดุซึ่งไม่แข็งจนเกินไปที่จะทำให้ต้นอ้อยเกิดความเสียหาย สามารถคืนรูปได้ และ ไม่มีการพันกันขณะใช้งาน ทำให้รถตัดอ้อยสามารถมีอัตราการเก็บเกี่ยวได้ 1 ชั่วโมงต่อ 1 ไร่ หรือ 1 ชั่วโมงต่อ 3200 ต้น

เมื่อนำเครื่องตัดอ้อยที่ได้จากการออกแบบ ส่งมอบให้กับเกษตรกรทำการทดลองเก็บเกี่ยวจริง เครื่องตัดอ้อยสามารถใช้งานได้ง่ายเพียงแค่พ่วงท้ายกับรถแทรกเตอร์ และเชื่อมเพลลาเข้าระหว่างเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์และเพลลาของเครื่องตัดอ้อย ผลการเก็บเกี่ยวอ้อยนั้นสามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้จริง ช่วยลดขั้นตอนในการทำงาน และต้นทุนให้กับเกษตรกรได้จริง โดยที่มูลค่าเครื่องตัดอ้อยจริงนั้นมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ต่ำหากเทียบกับการซื้อรถตัดอ้อยทั้งคัน อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการเผาป่าอ้อยซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุของมลพิษได้อีกด้วย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบควรทำให้มีการปรับอัตราทดของการสางใบได้ เนื่องจากแต่ละวัสดุอาจจะมีรอบในการทำงานที่เหมาะสม และควรทำให้มีตัวช่วยในการเล็งเพื่อที่จะได้ง่ายต่อการเข้าไปตัด อาจเพิ่มแข็งของโครงสร้างให้มากขึ้นเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ได้หลายพื้นที่นอกจากไร้ทดสอบในขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีสภาพภูมิศาสตร์แตกต่างกัน

การทดลองเพื่อหาวัสดุสางใบเพิ่ม หากสามารถพัฒนาเพิ่มความทนทานของสายพานร่อง A ได้จะได้วัสดุที่ดีขึ้น ควรทดลองเพิ่มที่ขนาดและความเร็วรอบที่แตกต่างกัน วัสดุที่ใช้สางใบต้องมีลักษณะยืดหยุ่น คืนตัวได้ มีความเหนียวและความทนทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ขวัญชัย สิ้นทิพย์สมบูรณ์ (2555). ไฮดรอลิกอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น
- [2] ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ (2552). ระบบไฮดรอลิกและการซ่อมบำรุง, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)
- [3] ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์, วิชัย โอภาณุกุล, อานนท์ สายคำฟู, วีระ สุขประเสริฐ, มานพ คันทามารัตน์ และ มงคล ตุ่นเฮ้า (2559). ออกแบบและพัฒนากลไกของเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์, วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 34, มกราคม - เมษายน 2559
- [4] Anthony Esposito, D.C. (2003). Fluid power with applications edition 6
- [5] <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=399>
- [6] Shigley's Mechanical Engineering Design in SI Units, 10th Edition in SI Units
- [7] วิชัย โอภาณุกุล (2558). วิจัยและพัฒนาเครื่องผลิตและเก็บใบอ้อยสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก, กรมวิชาการเกษตร, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2081>, เข้าดูเมื่อวันที่ 1/9/2562
- [8] ชัยวัฒน์ โพธิ์ทองและปจรรย์ ทองสนิท (2555). ผลของการเผาอ้อยต่อคุณภาพอากาศและสมบัติ. อ้อย, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.tci-thaijo.org/index.php/nuej/article/view/26178>, เข้าดูเมื่อวันที่ 2/9/2562
- [9] ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์, วิชัย โอภาณุกุล, อานนท์ สายคำฟู, วีระ สุขประเสริฐ, มานพ คันทามารัตน์ และ มงคล ตุ่นเฮ้า (2559). ออกแบบและพัฒนากลไกของเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์, วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 34, มกราคม - เมษายน 2559, หน้า85-89
- [10] Prof. A.O. Aki Ibadode, A.I. Igbafe and B.U. Anyata (2009). Advances in Materials and Systems Technologies II, Determination of Cutting Resistance of Sugar Cane (*Saccharum officinarum*) Using a New-Type Test Machine, pages 208-212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## วิธีการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องตัดอ้อยเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย

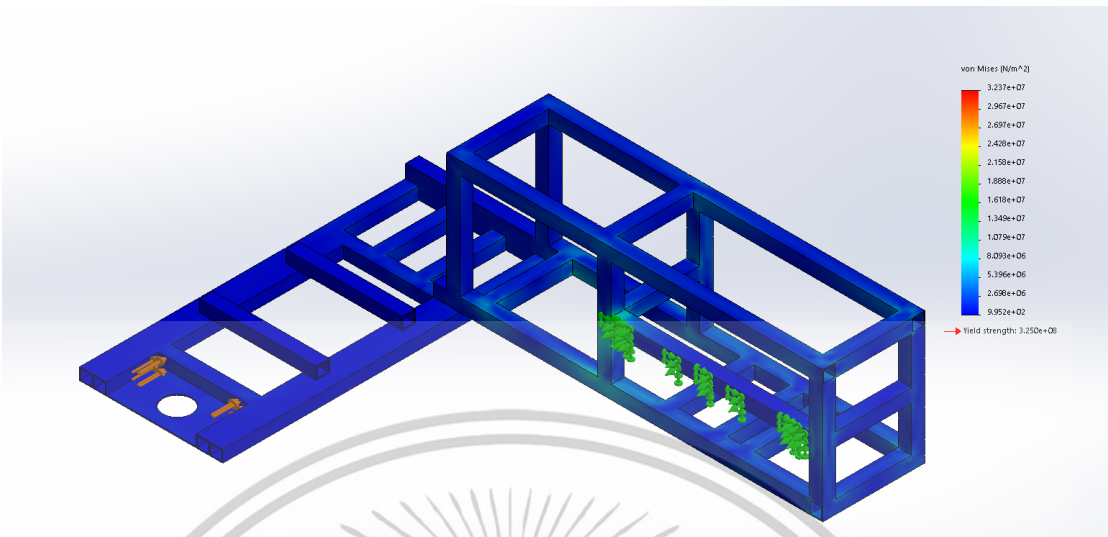
โครงสร้างเครื่องตัดอ้อยที่สร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งานเกี่ยวกับเกี่ยวผลผลิตอ้อยจริงนี้ เป็นโครงสร้างเครื่องที่ได้พัฒนาและผลิตใช้งานอยู่จริงโดยสร้างจากเหล็กกล่องขนาด 2 นิ้ว นำมาตัดและเชื่อมติดกันเป็นโครงสร้างจริงขึ้นมา ในกระบวนการสร้างแบบจำลอง CAD model ใช้โปรแกรม SolidWork ขึ้นรูปชิ้นงานและประกอบเป็นโครงสร้างขึ้นมา โดยเครื่องตัดอ้อยที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่จำแนกตามฟังก์ชัน โดยได้แก่มอเตอร์ตัดโคนซึ่งจะเป็นมอเตอร์แรกที่สัมผัสกับต้นอ้อย มอเตอร์วางใบที่จะคอยวางใบของลำต้นเพื่อไม่ให้มีใบติดอยู่กับลำต้นอ้อย และมอเตอร์ที่ลำเลียงอ้อยเข้าไปเก็บที่กระบะท้ายของเครื่องตัดอ้อย ซึ่งทุกมอเตอร์จะถูกติดตั้งเข้ากับโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อยดังกล่าว และพ่วงท้ายเข้ากับแทริกเตอร์เพื่อการลากจูงต่อไป ลักษณะของโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อยแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ ก.1 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย

#### ก.1.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม

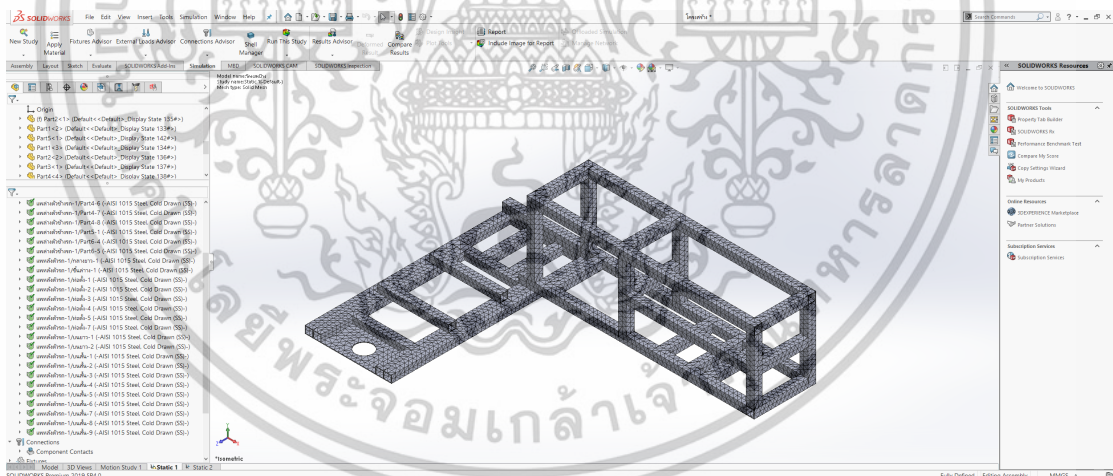
โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ สามารถสร้างแบบจำลองให้มีมิติที่เหมือนของจริงได้ โดยการแสดงภาพที่มีมิติเหมือนจริงได้ในมุมมองต่างๆ โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและนำไปวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องตัดอ้อยในงานวิจัยนี้คือ Solidworks ชิ้นงานที่สร้างโดยโปรแกรม Solidwork แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ ก.2 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย

### ก.1.2 โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

โปรแกรมที่ใช้ในการสนับสนุนการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถวิเคราะห์ได้แม่นยำ เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือกันอย่างแพร่หลาย ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องตัดอ้อยนี้คือโปรแกรม Solidworks Simulation



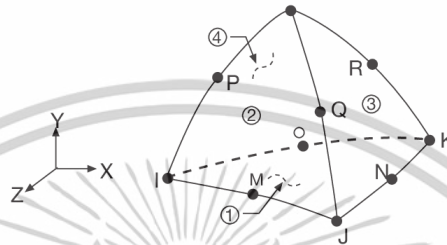
รูปที่ ก.3 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย

### ก.1.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1) การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) ด้วยโปรแกรม SolidWorks ตามสัดส่วนจริง 2) การกำหนดเงื่อนไข คุณสมบัติวัสดุของแบบจำลอง และแรงกระทำบนโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อยตามลักษณะการทำงาน และ 3) การวิเคราะห์ความเค้นและการโก่งตัวของแบบจำลอง

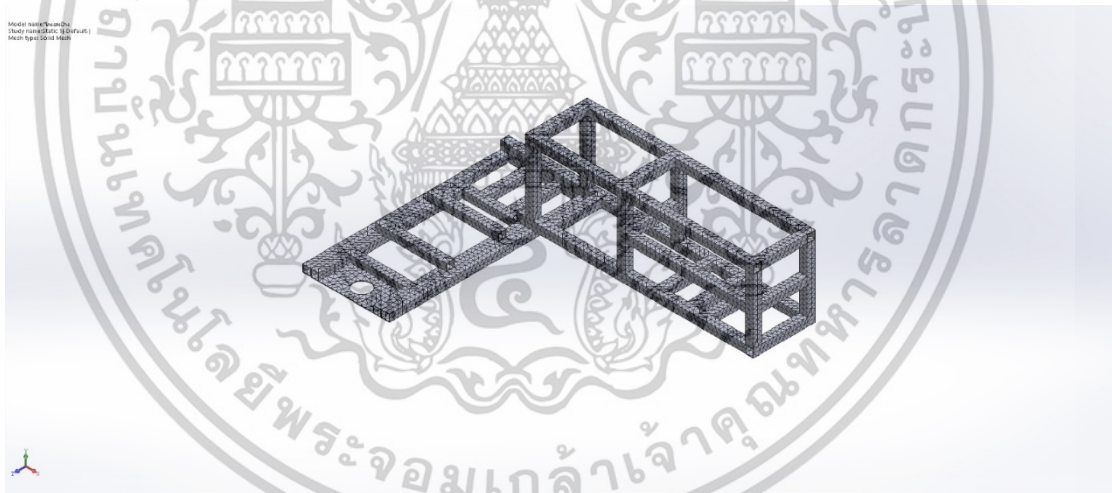
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างเครื่องตัดอ้อยถูกสร้างให้เอลิเมนต์เป็นแบบสามเหลี่ยมสี่หน้าสิบจุดต่อ (10-node tetrahedral) และมีขนาดไม่เท่ากัน เพราะโครงสร้างมีความซับซ้อน โดยในหนึ่งเอลิเมนต์ประกอบไปด้วยจุดต่อ (Node) ทั้งสิ้น 10 จุดต่อคือ I, J, K, L, M, N, O, P, Q และ R มีระดับ Degree of Freedom ของแต่ละ จุดต่อเอลิเมนต์เท่ากับ 3 คือ ในแนวแกน X, Y และ Z ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ ก.4 ลักษณะของเอลิเมนต์ของแต่ละ node

แบบจำลองมีขนาด Mesh ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 34.6707 mm ซึ่งทำให้มีเอลิเมนต์จำนวน 36,466 elements และ Node จำนวน 70,571 nodes ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ ก.5 รูปร่าง Mesh ของโครงสร้างเครื่องตัดอ้อย

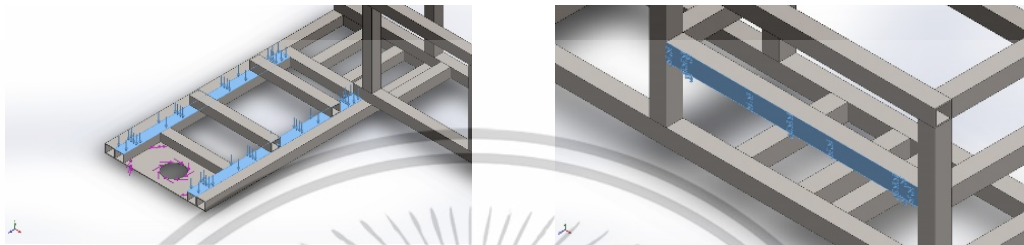
ตารางที่ ก.1 Material Property ของวัสดุที่นำมาวิเคราะห์

Yield strength:	325 MPa
Tensile strength:	385 MPa
Elastic modulus:	2.05 GPa
Poisson's ratio:	0.29
Mass density:	7,870 kg/m <sup>3</sup>
Shear modulus:	80 N/m <sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

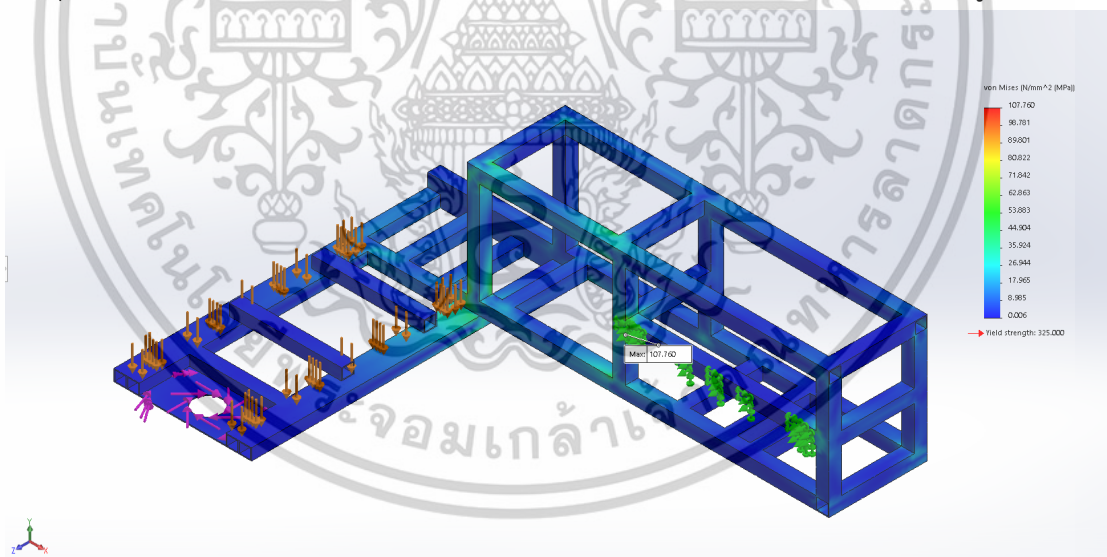
## ก.2 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

กำหนดให้โครงสร้างของเครื่องตัดอ้อยถูกจับยึดกับรถแทรกเตอร์ดังรูปที่ 4.2ซ้าย และแรงที่เกิดขึ้นจากการกดทับของน้ำหนักชุดสายพานลำเลียงเพื่อวางกองและส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตัดอ้อยมีขนาด 1500 นิวตัน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการตัดโคนอยู่ที่ 800 นิวตันเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2ขวา



รูปที่ ก.6 ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของเครื่องตัดอ้อย

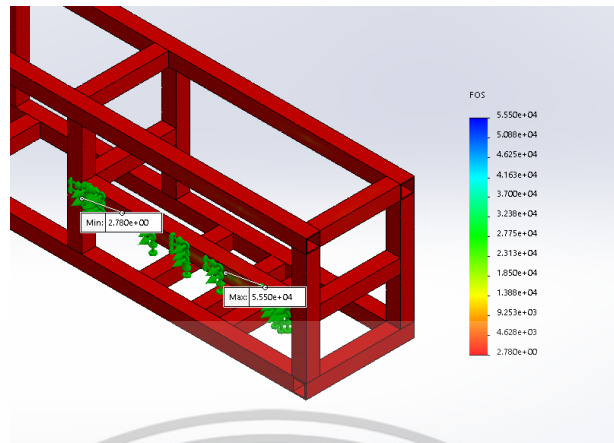
ผลการวิเคราะห์ความเค้นแสดงให้เห็นว่า บริเวณที่แสดงผลสีแดงเป็นบริเวณที่มีการกระจายตัวของความเค้นที่สูงที่สุด สีส้ม สีเหลือง สีเขียว และสีฟ้าคือบริเวณที่มีค่าการกระจายตัวของความเค้นลดลงตามลำดับ ส่วนสีน้ำเงินคือบริเวณที่มีการกระจายตัวของความเค้นต่ำที่สุดความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างมีค่า 108 MPa ความเค้นสูงสุดเหล่านี้เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง โหนดที่ 26951 ซึ่งอยู่ตรงจุดที่เชื่อมต่อกับรถแทรกเตอร์บริเวณด้านขวามือของคนขับรถแทรกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์ความเค้น Von mises

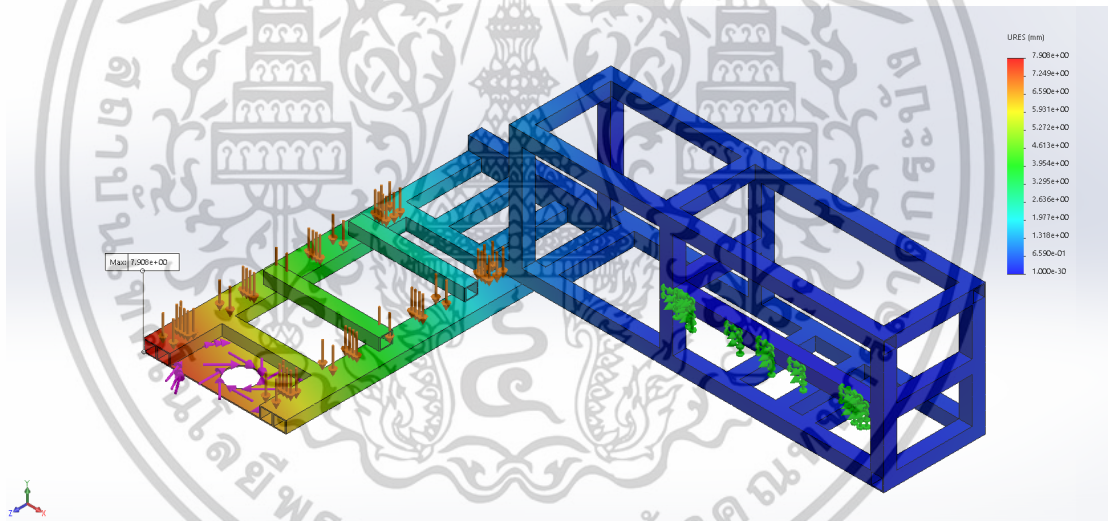
เมื่อนำความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นมาคำนวณหาค่าตัวประกอบความปลอดภัยจากอัตราส่วนระหว่าง Yield strength ต่อ ความเครียดสูงสุด พบว่าจุดที่มีความเครียดสูงสุดซึ่งเป็นจุดที่เราพิจารณาจะมีค่าตัวประกอบความปลอดภัย หรือว่า Factor of safety เท่ากับ 2.78 ดังแสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์ตัวประกอบความปลอดภัย

ผลการวิเคราะห์การโก่งตัวแสดงให้เห็นว่าบริเวณสีแดงแสดงค่าการโก่งที่เกิดขึ้นสูงที่สุด สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีฟ้า และสีน้ำเงิน มีค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้นลดลงตามลำดับ การโก่งตัวสูงสุดที่เกิดขึ้น 7.908 mm ณ ตำแหน่งโหนดที่ 6422 ซึ่งอยู่ตรงบริเวณที่มีการติดตั้งชุดใบมีดตัดโคน ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์การโก่งตัว

ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เกิดเนื่องมาจากค่าที่นำมาคิดในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นค่าแรงที่กระทำขณะหยุดนิ่ง (static load) ทำให้การโก่งตัวของคานรองรับน้ำหนัก มีค่าน้อยกว่าจากการใช้งานจริงที่รับแรงกระแทกขณะเคลื่อนที่ทุกสภาวะการทำงาน รวมไปถึงการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการรวมคุณสมบัติของวัสดุเป็นชิ้นเดียวกันในทุกๆ ตำแหน่งที่เป็นรอยเชื่อมของโครงสร้าง ซึ่งผิดกับความเป็นจริงที่ชิ้นส่วนมีรอยเชื่อมเพื่อขึ้นรูปจากการทดสอบการใช้งานเก็บเกี่ยวในแปลงนา ภายหลังการปรับปรุงพบว่า โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักได้โดยไม่เกิดการโก่งเสียรูป และมีความแข็งแรงในระดับดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. วิธีการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องตัดอ้อยเบื้องต้น

### 1.1 พื้นฐานการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

พื้นฐานการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรมีองค์ประกอบดังนี้

1. ความหมายของการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร
2. เป้าหมายการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

### 1.2 ความหมายของเครื่องจักร

เครื่องจักร ตามความหมายของพระราชบัญญัติโรงงาน คือ สิ่งที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำหรับใช้กำเนิดพลังงาน เปลี่ยน หรือ แปลงสภาพพลังงานหรือส่งพลังงาน ทั้งนี้ด้วยกำลังน้ำ ไอน้ำ เชื้อเพลิง ลม ก๊าซ ไฟฟ้า และ รวมถึงเครื่องอุปกรณ์อื่นด้วย เช่น สวิตช์ พลูเลย์ สายพาน เพลา โซ่ หรือ เกียร์ เป็นต้น

ดังนั้น เครื่องจักร คือ สิ่งที่มีกลไกเคลื่อนไหวได้ด้วยตัวเองเพื่อการปฏิบัติงานช่างหรือการขนย้าย เช่น เครื่องจักรในงานช่างทั่ว ๆ ไป (Machine tools) เครื่องผ่อนแรงที่ใช้ในการขนย้าย ตัวต้นแรง ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

### 1.3 ความหมายของการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

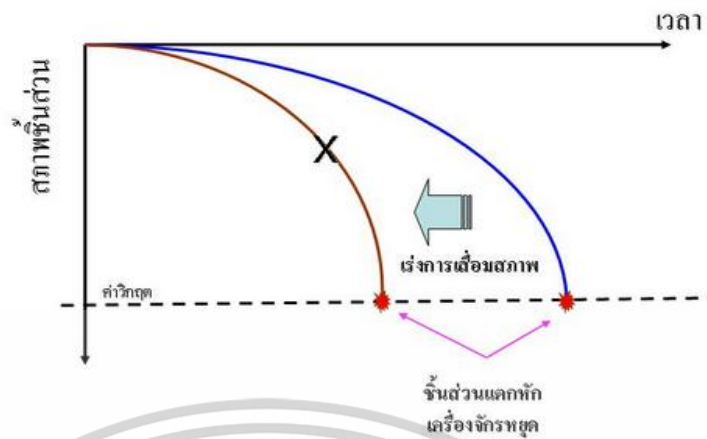
การบำรุงรักษาเครื่องจักร หมายถึง การรักษาดูแลตรวจสอบสภาพ ซ่อมแซมและป้องกัน เพื่อไม่ให้เกิดการเสียหายก่อนกำหนด หรือ เรียกว่า ให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพที่ใช้งาน ได้อยู่ตลอดเวลาและยาวนาน

### 1.4 เครื่องจักรเสียได้อย่างไร

เครื่องจักรย่อยประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ มากมายหลายชิ้นประกอบเข้าด้วยกัน เช่นเดียวกับ รถยนต์ของเราไม่ได้มาจากชิ้นส่วนเพียงชิ้นเดียวแต่มาจากชิ้นส่วนหลายๆ ชิ้นประกอบเข้าด้วยกัน จึงจะรวมเป็นเครื่องจักรสำหรับปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังและอ้อยชุมชน การจะเกิดความเสียหายนั้น ไม่ได้หมายความว่าเสียหายทั้งหมดแต่เราจะหมายถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนบางชิ้นที่เสียหาย แต่ชิ้นนั้นส่งผลให้เครื่องจักรทำงานไม่ได้ ดังนั้นเครื่องจักรของเรา ก็เช่นเดียวกันการที่จะเสียหายเกิดจากชิ้นส่วนบางชิ้น เสียหายไม่ได้เกิดจากทุกชิ้นเสียหายพร้อมกัน ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะถูกออกแบบมาให้ทำงานที่สภาวะการณใด ๆ สภาวะหนึ่ง หากสภาพของชิ้นส่วนนั้นแยกลงจนถึงจุดที่มันไม่สามารถรับกับการทำงานที่ออก แบบให้รับได้ชิ้นส่วนนั้นก็แตกหักเสียหายดังรูปที่ ก.1

จะเห็นว่าเส้นสีน้ำเงินคือการเสื่อมสภาพตามปกติของชิ้นส่วน เมื่อสภาพของชิ้นส่วนนั้นเสื่อมลงจนถึงค่าวิกฤต ชิ้นส่วนนั้นก็แตกหักเสียหายไป แต่ถ้าเราเฝ้าระวังให้การเสื่อมสภาพนั้นเกิดเร็ว

ยิ่งขึ้น การเสื่อมสภาพก็จะเป็นเส้นสีแดง การเสียหายของชิ้นส่วนนั้นก็เสียหายเร็วกว่าปกติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

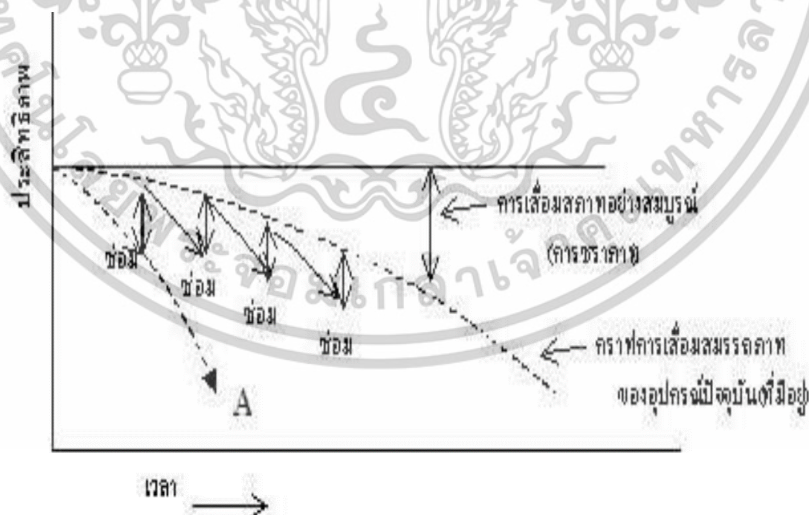


รูปที่ ข.1 แสดงการชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักร

### 1.5 เป้าหมายการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

เป้าหมายของการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร คือ การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรให้สูงขึ้นอยู่ตลอดเวลาดังแสดงในรูปที่ ก.2 ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยั้งที่จะให้ทำให้เกิดผลตามเป้าหมาย โดยคำนึงถึงหลักสำคัญ 3 ประการ คือ

1. ขจัดข้อขัดข้องของอุปกรณ์ให้สูญสิ้นไป
2. ลดระยะเวลาหยุดเครื่องอันเกิดจากเหตุขัดข้องให้สั้นสุดลง
3. พยายามไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายหรือทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น



รูปที่ ข.2 แสดงการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรเมื่อได้รับการซ่อมบำรุงรักษา

การที่ชิ้นส่วนนั้นจะเสียหายเร็วกว่าปกติอาจมีหลายสาเหตุซึ่งสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความแข็งแรงของชิ้นส่วนเครื่องจักรลดลง เกิดจากการที่ชิ้นส่วนนั้น เกิดการเสื่อมสภาพทำให้ ชิ้นส่วนนั้นไม่สามารถทนต่อการใช้งานตามปกติได้เช่น เพลลาที่สึกเล็กน้อย ก็ทำให้ไม่สามารถรับแรงได้เท่าเดิม

2. ความแข็งแรงของชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่เพียงพอ เกิดจากการที่ออกแบบมาตั้งแต่แรก ไม่เหมาะสมทำให้เครื่องจักรไม่สามารถ ที่จะรับต่อแรงที่เกิดขึ้นได้ หรือทำให้เกิดการล้าตัว และเสียหาย

3. การใช้งานเกินกำลัง เกิดจากการที่เครื่องจักรนั้น ถูกออกแบบมาให้ทำงานในระดับหนึ่ง แต่ไปใช้เครื่องจักร ในอีกระดับหนึ่ง ซึ่งมากกว่าที่ถูกออกแบบไว้ ทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักร เกิดการเสียหายได้

ดังนั้นผู้ใช้เครื่องจักรอาจมีหน้าที่ต้องดูแลรักษาเครื่องจักรเพื่อที่จะไม่ให้เกิดเหตุการณ์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ไม่เกิดขึ้น โดยการ

- รักษาสภาพพื้นฐานของเครื่องจักรให้ถูกต้อง
- ออกแบบชิ้นส่วนที่อ่อนแอใหม่ ที่ทนต่อการใช้งานให้ได้มากขึ้น
- กำหนดการเดินทางเครื่องที่เหมาะสม
- เพิ่มความสามารถของพนักงานเดินเครื่อง และช่างให้ตรวจสอบการเสื่อมสภาพได้มากขึ้น
- การขาดการตรวจสอบ ซ่อมที่เหมาะสม
- ปรึกษาภายนอก

## 1.6 การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษา หมายถึง การพยายามที่จะดำเนินการต่าง ๆ เพื่อที่จะรักษาสภาพของเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ โดยครอบคลุมถึงการซ่อมบำรุง (Repair) ด้วย ความสำคัญของการบำรุงรักษา เนื่องจากหลักการบริหารงานผลิต คือ พยายามควบคุมให้ได้ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพภายในเวลาที่กำหนดด้วยต้นทุนที่ต่ำสุด สามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันตามกำหนดเวลารวมถึงผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยและมีขวัญกำลังใจ ดังนั้นความสำคัญของการบำรุงรักษา จึงอาจสรุปได้ดังนี้ คือ

1. เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Effectiveness) ตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และใช้งานได้เต็มกำลังความสามารถ

2. เพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพการทำงานสูง (Performance) ซึ่งการบำรุงรักษาจะเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งาน โดยอาศัยการปรับแต่งหรือซ่อมบำรุง

3. เพื่อให้เครื่องจักรมีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการผลิตสินค้า ซึ่งการบำรุงรักษาจะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเครื่องจักร ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความละเอียด ความเที่ยงตรง และมาตรฐานของสินค้า ซึ่งจะส่งผลต่อการยอมรับหรือความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อสินค้า

ในท้ายที่สุดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อให้มีความปลอดภัย (Safety) จัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะถ้ามีการใช้งานเครื่องจักรที่ชำรุดหรือไม่พร้อมใช้งาน ก็สามารถก่อให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บต่อผู้ใช้งานเครื่องจักรได้

### 1.7 ระบบส่งถ่ายกำลังให้แก่เครื่องจักร

เครื่องจักรมีการรับพลังงานการหมุนทั้งหมด ออกมาจากช่องส่งกำลัง PTO ของรถแทรกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ข้อควรระวังคือ เฟืองสไปลันต์ จะต้องถูกสวมเข้ากับช่อง PTO ให้ได้มากกว่า 1/2 ของความยาว

ที่มีอยู่ และ ต้องยึดโครงของตัวเครื่องให้ได้ 3 จุด อย่างมั่นคง ดังรูปที่ ก.3



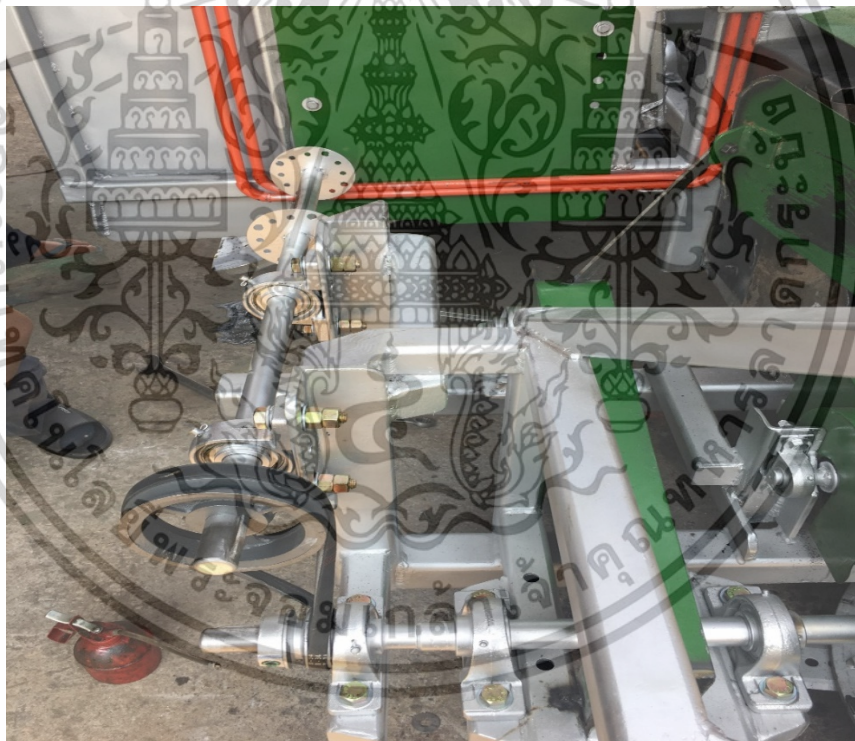
รูปที่ ข.3 การส่งถ่ายกำลังด้วยเพลลา

หลังจากที่ได้รับพลังงานการหมุนจากรถแทรกเตอร์มาแล้ว ระบบส่งถ่ายกำลังงานจะถูกลำเลียงพลังงานเหล่านั้นไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพื่อที่จะให้ได้พลังงานกลในรูปแบบต่าง ๆ ช่วยทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ ข.4 และ ข.5 จะประกอบไปด้วย เฟืองตรง โซ่ สเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 การส่งถ่ายกำลังเฟืองตรงและโซ่



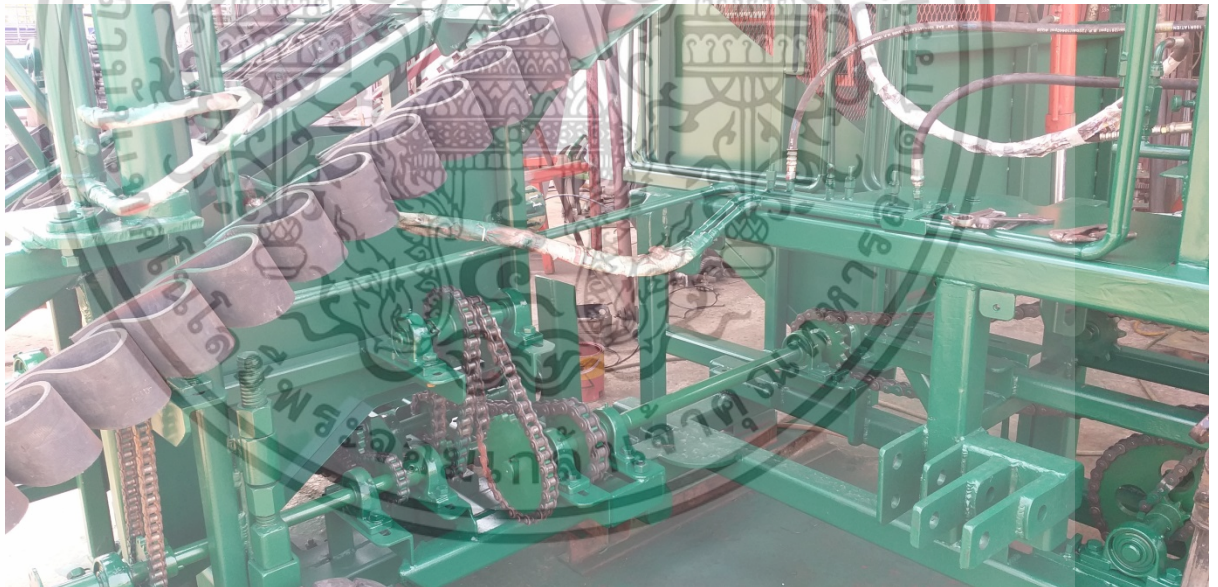
รูปที่ ข.5 การส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานและพูลเลย์

อีกระบบหนึ่งคือ ระบบไฮดรอลิกส์ จะเป็นการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นแรงดันของของไหล แล้วส่งไปตามท่อส่ง แล้วเปลี่ยนพลังงานเหล่านั้นกลับเป็นพลังงานกลเช่นเดิม โดยทั่วไปแล้วตัวทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ จะมีการเคลื่อนที่แบบเคลื่อนที่ตรง และ เคลื่อนที่แบบหมุน ดังแสดงในรูป ก.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



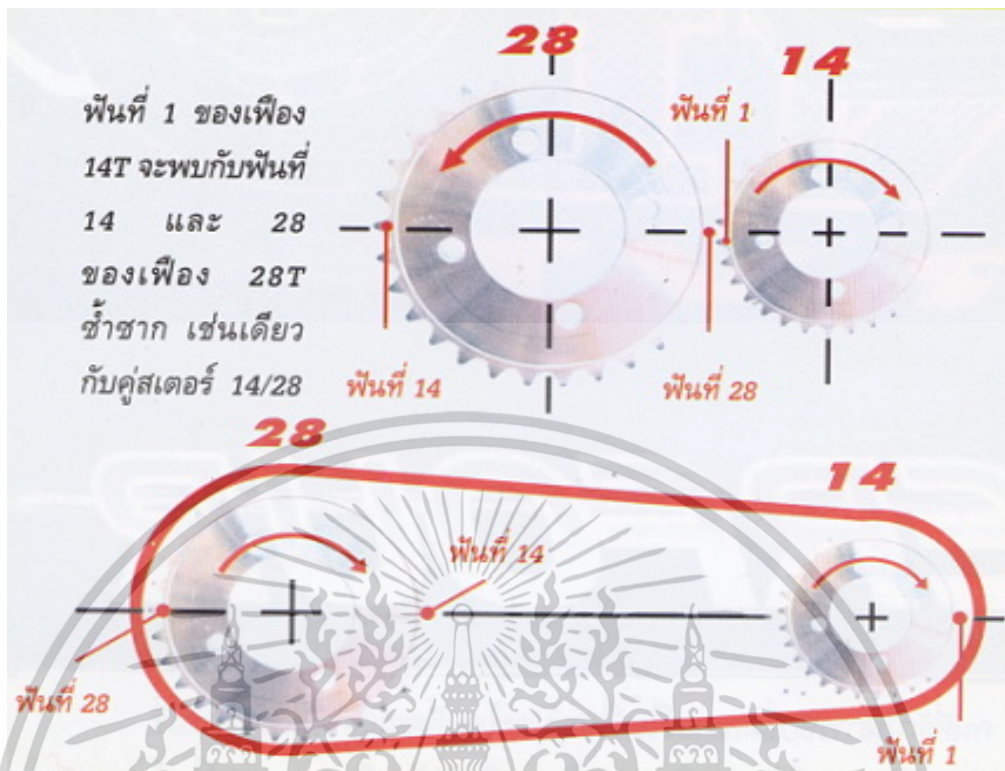
รูปที่ ข.6 การส่งถ่ายกำลังด้วยระบบไฮดรอลิกส์



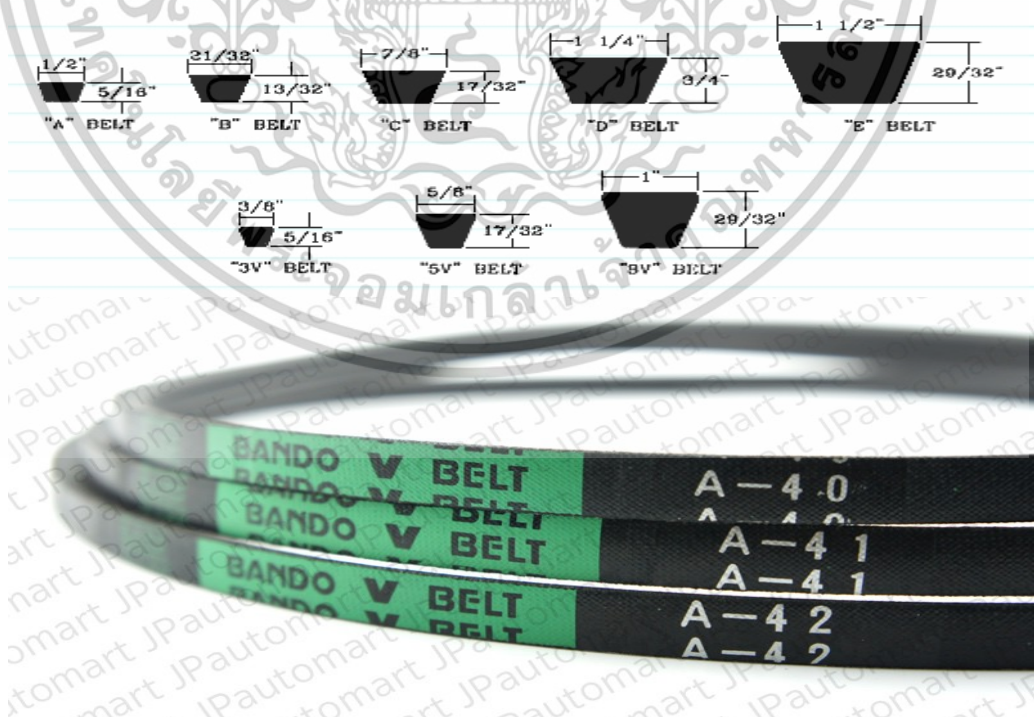
รูปที่ ข.7 แสดงการประกอบชิ้นส่วนเพื่อส่งถ่ายกำลังงานหมุนในเครื่องจักรโดยใช้โซ่และสเตอร์

ในเครื่องจักรด้านการเกษตรส่วนมากจะมีระบบส่งกำลังแบบโซ่และสเตอร์ร่วมอยู่ด้วย ข้อดีของระบบนี้คือ การหมุนจะไม่เกิดการสั่นไถล มีอัตราส่วนการหมุนคงที่ตัวอย่างการส่งกำลังแบบนี้แสดงดังรูปที่ ก.7 และ การคำนวณอัตราทดจะแสดงในรูปที่ ก.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 แสดงหลักการคำนวณค่าอัตราทดของโซ่และสเตอร์



รูปที่ ข.9 แสดงขนาดของสายพานที่มีขายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไม่ต้องการสิ้นส่วนของการทำงานหนืดที่ หรือ ยินยอมให้เกิดการลื่นไถลได้ ระบบส่งถ่ายกำลัง มักจะเลือกใช้สายพานและพูลเลย์ โดยรูปแบบของสายพานที่มีขายตามท้องตลาดจะแสดงดังรูปที่ ก.9 ตัวอย่างของการเลือกสายพาน เช่น สายพาน “ร่อง A - 40” คือ สายพานที่มีความกว้าง 1/2 นิ้ว มีความสูง 5/16 นิ้ว มีความยาวของเส้นรอบวง 40 นิ้ว โดยพื้นที่หน้าตัดของสายพานจะมีลักษณะเป็นตัว V เป็นต้น ดังนั้นเมื่อเกิดการสึกหรอหรือเกิดการขาดของสายพานสามารถเลือกซื้อให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามการติดตั้งสายพานจะมีตัวปรับตั้งความตึงอยู่เล็กน้อยเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการทำงาน โดยระบบส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานและพูลเลย์จะแสดงในรูปที่ ก.10

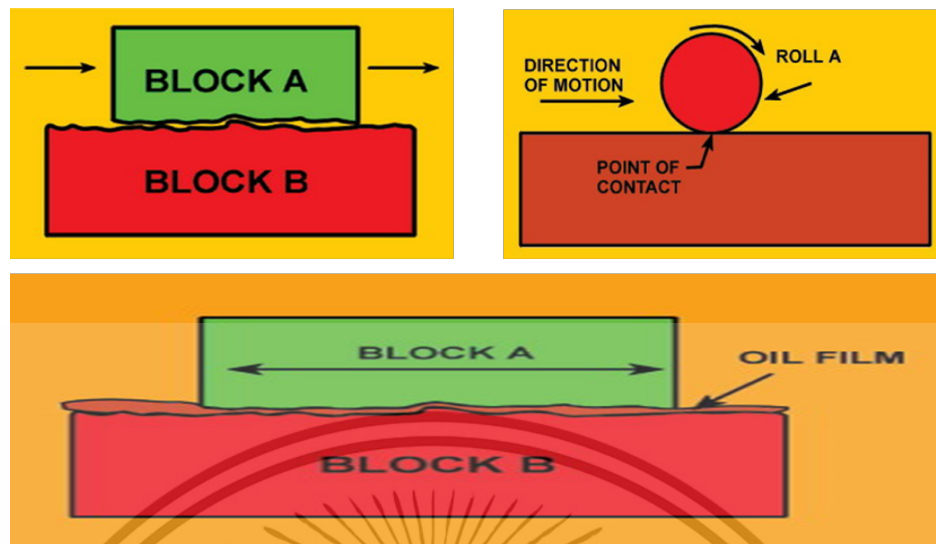


รูปที่ ข.10 แสดงการประกอบชิ้นส่วนเพื่อส่งถ่ายกำลังงานหมุนในเครื่องจักร

### 1.8 การดูแลรักษา ระบบส่งถ่ายกำลังที่ใช้ในการประกอบเครื่องจักร

การสึกหรอของชิ้นส่วน (Wear) จะเกิดขึ้นเมื่อมีวัสดุตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปเสียดสีกันยอมเกิดความฝืด ( Friction) ขึ้นซึ่งระดับความฝืดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความเรียบของผิวสัมผัส ภาระที่กระทำ ความเร็วในการเสียดสีและรูปแบบของการเสียดสี นอกจากความฝืดที่ก่อให้เกิดแรงเสียดทานและความร้อนแล้ว ยังก่อให้เกิดความสึกหรอของวัสดุขึ้นด้วย อัตราการสึกหรอขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุที่ใช้ ความเร็วในการเสียดสีและแรงที่กดตั้งแสดงในรูปที่ ก.11 โดยเมื่อต้องการลดการสึกหรอจึงจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นมาขึ้นระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น โดยสารหล่อลื่นต่าง ๆ ที่มีขายตามท้องตลาดแสดงดังรูปที่ ก.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



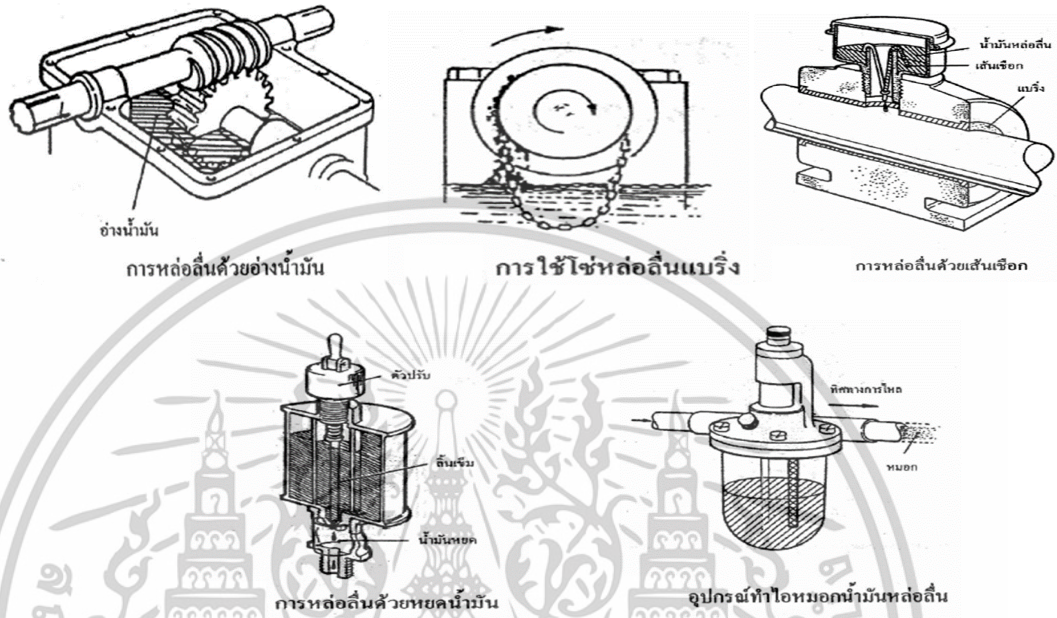
รูปที่ ข.11 แสดงสาเหตุของการสึกหรอของวัตถุ 2 ชนิดที่เสียดสีกัน



รูปที่ ข.12 แสดงตัวอย่างสารหล่อลื่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของการนำพาสารหล่อลื่นไปยังตำแหน่งของวัสดุที่เสียดสีกันนั้นมาอยู่หลายวิธีเช่น การหล่อลื่นด้วยอ่างน้ำมันเครื่อง ใช้โซ่หล่อลื่นแบบรีง์หล่อลื่นด้วยเส้นเชือกหล่อลื่นด้วยหยด และ ทำไอหมอกน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ ก.13



รูปที่ ข.13 แสดงหลักการนำพาสารหล่อลื่นไปยังชิ้นส่วนต่าง ๆ

ชนิด	ความหนืด	ลักษณะงาน
SAE 10	น้อย	ความเร็วรอบสูง,ภาระน้อย
SAE 20W50	อยู่ในช่วง 20-50	เครื่องยนต์เบนซิน
SAE 30	ปานกลาง	เครื่องมือ, เครื่องจักรกลทั่วไป
SAE 40	ปานกลาง	เครื่องยนต์ดีเซล
SAE 90,140	สูง	ความเร็วรอบต่ำ,ภาระสูง เช่น เฟืองท้ายรถยนต์

รูปที่ ข.14 แสดงเกรดน้ำมันตามมาตรฐาน SAE

สารหล่อลื่นส่วนปัจจุบันจะมีสารป้องกันต่าง ๆ ที่ผสมเข้าไปในตัวสารหล่อลื่นเอง แต่ส่วนใหญ่การเลือกใช้สารหล่อลื่นจะถูกกำหนดมาตรฐานจากหน่วยงานต่าง ๆ จากรูปที่ ก.14 จะใช้มาตรฐานของ SAE (Society of Automotive Engineers) เพื่อกำหนดค่าความหนืดของสารหล่อลื่น ดังนั้นจึงความเลือกใช้ให้เหมาะสมด้วย การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น เมื่อมีการใช้งานของสารหล่อลื่นแล้ว จะมีการกำหนดอายุการใช้งานขึ้น โดยคิดเป็นชั่วโมงทำงานของสารหล่อลื่นนั้น ๆ โดยสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เนื่องจากการเสื่อมสภาพของตัวเนื่อน้ำมันอันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ
2. เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมคุณภาพไป
3. เนื่องจากมีสารอื่นจากภายนอกเข้ามาปะปน

ในบางตำแหน่งจะไม่สามารถใช้สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวเพื่อชั้นระหว่างชิ้นส่วนที่เสียดสีกัน จึงต้องมีการปรับสารหล่อลื่นชนิดกึ่งแข็งกึ่ง (จาระบี) ซึ่งมีสารหล่อลื่นชนิดนี้ขายตามท้องตลาดดังแสดงในรูป ก.15



รูปที่ ข.15 แสดงจาระบีที่มีขายตามท้องตลาด

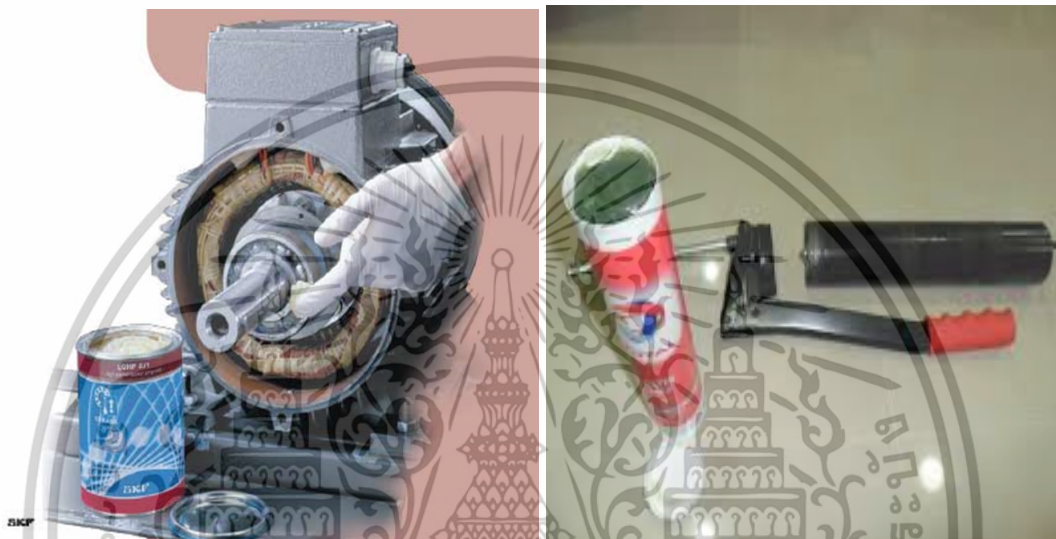
หมายเลขชั้น NLGI Class	ตัวเลขการจมลึก Penetration Number (1/10mm)	ลักษณะความเหนียวชั้นที่ 25 °C General Consistency at 25 °C
000	445 ถึง 475	ของไหล (Fluid)
00	400 ถึง 430	กึ่งของไหล (Semi-fluid)
0	355 ถึง 385	เนื้ออ่อนมาก (Very Soft)
1	310 ถึง 340	เนื้ออ่อน (Soft)
2	265 ถึง 295	จาระบีสามัญ (Normal "Grease")
3	220 ถึง 250	เนื้อแน่น (Firm)
4	175 ถึง 205	เนื้อแน่นมาก (Very Firm)
5	130 ถึง 160	เนื้อแข็ง (Hard)
6	85 ถึง 115	เนื้อแข็งมาก (Very Hard)

รูปที่ ข.16 แสดงค่าความเหนียวของจาระบีแต่ละเกรดที่มีใช้ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจาระบีก็มีการกำหนดค่าเป็นเกรดตั้งแต่เบอร์ 000 ไปจนถึง เบอร์ 6 ดังแสดงในรูปที่ ก.15 ซึ่งเกรดของจาระบีทั่วไปที่แนะนำให้ใช้คือ เบอร์ 3

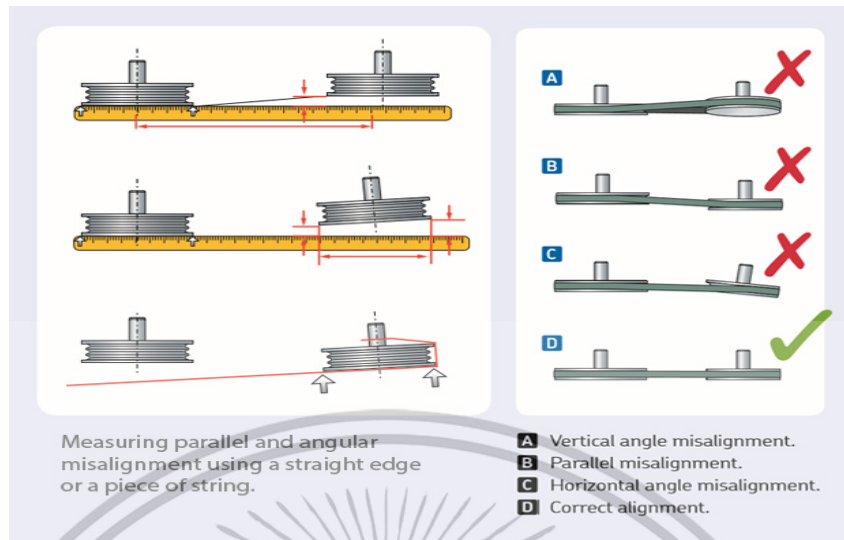
การใช้งานจาระบีจะเป็นดังรูป ก.17 ซึ่งสามารถใช้มือทาในบางตำแหน่ง และ บางตำแหน่ง จำเป็นต้องใช้เครื่องมืออัดจาระบีเพื่อให้เกิดการบีบอัดเนื้อของจาระบีเข้าไปยังตำแหน่งที่ต้องการหล่อลื่น



รูปที่ ข.17 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดจาระบีเบื้องต้น

ลักษณะการติดตั้งเมื่อมีการถอด ประกอบของระบบส่งถ่ายกำลังแบบ สายพาน พูลเลย์ อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการซ่อมบำรุงรักษาระบบนั้น ลักษณะการประกอบชิ้นส่วน แสดงดังรูปที่ ก.18 ซึ่งสามารถใช้ได้กับการส่งถ่ายกำลังของโซ่ สเตอร์ เช่นกัน การตั้งค่าความขนาน ค่าความตั้งฉาก ค่าการเยื้องศูนย์กลาง ไม่ควรที่จะมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้การสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนนั้น ๆ จะเกิดขึ้นเร็วมากเกินค่าปกติ การตั้งค่าเหล่านี้ให้ได้มาตรฐาน จึงเป็นการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่าง ๆ ไปด้วย

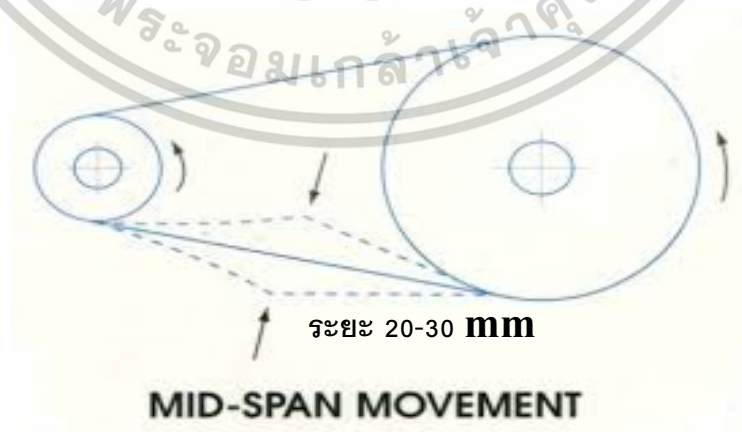
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.18 แสดงการปรับตั้งค่าความขนาน (Alignment) ของพูลเลย์สายพานให้ถูกต้อง



รูปที่ ข.19 แสดงการปรับตั้งค่าความตึงของสายพานให้เหมาะสม



รูปที่ ข.20 แสดงการปรับระยะหย่อนของโซ่ สเตอร์ให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับตั้งระยะการหย่อนของสายพานและโซ่จะเกิดขึ้นโดยมีระยะเวลาเป็นตัวกำหนด หรือเกิดขึ้นเมื่อมีการถอด ประกอบ ชิ้นส่วนในระบบนี้ การยืดของสายพานและโซ่จะเกิดขึ้นเมื่อได้รับแรง ดึง หลังจากนั้นจะเกิดการล้าตัว เกิดเป็นค่าความเครียดทางกลในเนื้อวัสดุ (Mechanical Strain) โดย สามารถพิจารณาการยืดตัวจากกราฟ Stress-strain curve หรือ จากคู่มือของผู้ผลิตชิ้นส่วนในแต่ละ รายได้ ค่าการปรับตั้งระยะหย่อนตัวของสายพานอยู่ระหว่าง 5-10 มม. ดังแสดงในรูปที่ ก.19 ขณะที่ การหย่อนของโซ่จะประมาณ 20-30 มม. ดังแสดงในรูปที่ ก.20 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การสึกหรอของฟัน สเตอร์ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

## ประมวลภาพการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 แสดงเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่ยังไม่นำมาพ่วงท้ายแทรกเตอร์



รูปที่ ค.2 แสดงเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่นำมาพ่วงท้ายแทรกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 แสดงเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่นำมาเก็บเกี่ยวในไร่จริง



รูปที่ ค.4 แสดงลักษณะต้นอ้อยที่ถูกเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้