

การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา



นายมงคล คชาพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC DIBBLING
FERTILIZER APPLICATOR FOR
PARA-RUBBER TREE**



Mongkol Kataphan

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Agricultural and Food Engineering
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2017

การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.พูนศักดิ์ จุลยุเสนา)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.พิพัฒน์ อมตฉายา)

กรรมการ



(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)

กรรมการ



(ผศ. ดร.พรรษา ลิบลับ)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มงคล ทัศนีย์ : การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา
(DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC DIBBLING FERTILIZER APPLICATOR
FOR PARA-RUBBER TREE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงค์ดี
จุลยเสน, 121 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา เครื่องใส่ปุ๋ยประกอบด้วยห้าส่วนหลัก คือ ชุดโครงหลัก ชุดโครงรอง ชุดเจาะหลุม ชุดหยอดปุ๋ย และชุดควบคุมอัตโนมัติ ชุดโครงหลักและชุดโครงรองถูกเชื่อมต่อกันด้วย four bar linkage และสปริงรับแรงกด หัวเจาะมีรูปร่างแบบกรวยถูกขับเคลื่อนด้วยกลไกลูกเบี้ยว การเคลื่อนที่ของหัวเจาะเป็นแบบความเร่งคงที่ ชุดหยอดปุ๋ยทำหน้าที่กำหนดปริมาณปุ๋ยในการปล่อยลงหลุม ชุดควบคุมอัตโนมัติควบคุมความเร็วของลูกเบี้ยวของชุดเจาะหลุมและควบคุมการเปิดปิดของชุดหยอดปุ๋ย ระยะห่างระหว่างหลุมที่เจาะถูกกำหนดด้วยแผ่นจาน ผลการทดสอบเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า กลไก four bar linkage และสปริงรับแรงกดสามารถช่วยควบคุมความลึกของหลุม หัวเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 60 cm สามารถเจาะหลุมที่มีปริมาตรเท่ากับ 20.7 และ 58.3 cm³ ตามลำดับ แผ่นจานสามารถกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมได้ถูกต้องเฉลี่ย 99.5% ชุดหยอดปุ๋ยสามารถปล่อยปุ๋ยต่อหลุมได้เฉลี่ย 6.64 g ผลการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานในกระบะดินในช่วงความชื้นของดินระหว่าง 4-8%wb พบว่า ขนาดหลุมและคุณภาพของการหยอดปุ๋ยมีค่ามากขึ้นเมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้น แต่ระยะห่างระหว่างหลุมไม่มีอิทธิพลต่อขนาดหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย ผลการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานในแปลงยางพาราจำลอง สอดคล้องกับผลการทดสอบในกระบะดิน จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดความเร็วในการทำงานเท่ากับ 0.16 m/s เครื่องใส่ปุ๋ยมีความสามารถในการทำงานประสิทธิผลและประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่เท่ากับ 0.36 rai/h และ 73.6% ตามลำดับ ดังนั้นเครื่องใส่ปุ๋ยจะมีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 23.9 kg/h ด้วยระดับคุณภาพของการหยอดปุ๋ยมากกว่า 97% อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบในแปลงยางพาราจริงที่มีสภาพดินอัดแน่น พบว่าคุณภาพการหยอดปุ๋ยลดลงเหลือ 73%

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา 

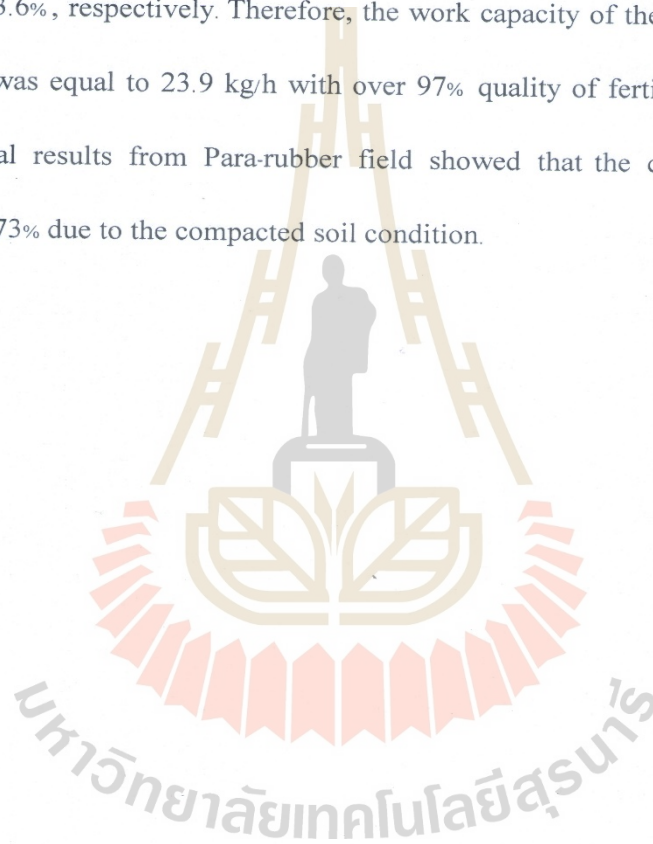
ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา 

MONGKOL KATAPHAN: DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC
DIBBLING FERTILIZER APPLICATOR FOR PARA-RUBBER TREE.
THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PAYUNGSAK JUNYUSEN, Ph.D.,
121 PP.

PARA-RUBBER TREE/FERTILIZER APPLICATOR/CAM MECHANISM

The objective of this study was to develop an automatic dibbling fertilizer applicator. The fertilizer applicator consists of five units including major-frame unit, minor-frame unit, dibbling unit, fertilizing unit and control unit. The major-frame unit and the minor-frame unit were connected employing a four bar linkage and a compressive spring. The cone type dibble was driven with a cam mechanism. The displacement diagram of the dibble was a constant acceleration motion. The fertilizing unit specifies the amount of fertilizer per hole. The control unit regulates the cam's speed and fertilizing. The distance between the dibbled holes was controlled by a metering disk. The preliminary results showed that the four bar linkage and the spring helped to control the hole depth. The dibble with diameter of 50 and 60 cm could dibble the holes with volume of 20.7 and 58.3 cm³, respectively. The metering disk could mark the distance between the holes precisely with the accuracy of 99.5%. The fertilizing unit could quantify the amount of fertilizer with 6.64 grams per hole. The experimental tests were carried out in a soil bin. The results showed that higher moisture of content in soil resulted to increasing hole size and quality of fertilizing.

Nevertheless, distance between holes did not influenced hole size and quality of fertilizing. The experimental results from simulated Para-rubber field positively related to the results from soil bin. The results showed that when the speed of the fertilizer applicator was 0.16 m/s, the effective field capacity and the field efficiency were 0.36 rai/h and 73.6%, respectively. Therefore, the work capacity of the developed fertilizer applicator was equal to 23.9 kg/h with over 97% quality of fertilizing. However, the experimental results from Para-rubber field showed that the quality of fertilizing reduced to 73% due to the compacted soil condition.


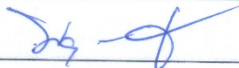


School of Agricultural Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จล่วงด้วยดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เกิดขึ้นไม่ได้หากไม่ได้รับความกรุณาจากบุคคลต่าง ๆ ดังรายละเอียดด้านล่าง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินการวิจัย ตลอดจนกำลังใจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ อมตฉายา กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

อาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปสภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

พี่ เพื่อนและน้อง ๆ ทั้งที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มงคล กระจ่าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	๓
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ยางพารา.....	4
2.1.1 การผลิตยางพารา.....	4
2.1.2 พื้นที่ปลูกยางพารา.....	5
2.1.3 การใส่ปุ๋ยยางพารา.....	5
2.2 การออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร.....	7
2.2.1 ความคุ้มผสมในระบบสองมิติ.....	7
2.2.2 ทฤษฎีความเสียหาย.....	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.3.1 การพัฒนาเครื่องเจาะหลุม.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ย.....	18
2.3.3 การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุม	27
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3.1.1 รถแทรกเตอร์เกษตร	30
3.1.2 กระบะดิน	33
3.1.3 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก	34
3.1.4 PLC	35
3.1.5 ฟร็อกซิมีตี้เซนเซอร์.....	36
3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	36
3.2.1 การออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา	36
3.2.2 การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในกระบะดิน	39
3.2.3 การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงเกษตร	40
3.2.4 ค่าชี้และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ	46
4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	50
4.1 ผลการออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบหยอดหลุมอัตโนมัติสำหรับพืชสวน	50
4.1.1 ผลการออกแบบชุดเจาะหลุม	50
4.1.2 ผลการออกแบบชุดโครงหลักและชุดโครงรอง	60
4.1.3 ผลการออกแบบและทดสอบชุดหยอดปุ๋ย.....	61
4.1.4 ผลการออกแบบชุดควบคุมอัตโนมัติ	63
4.1.5 ผลการทดสอบระยะห่างระหว่างหลุม	63
4.2 ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในกระบะดิน	65
4.2.1 ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยชุดต้นกำลังไฮดรอลิก	65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2	ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอลิก ของรถแทรกเตอร์เกษตร.....	68
4.2.3	ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงเกษตร.....	75
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1	สรุปผล.....	84
5.1.1	การออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ.....	84
5.1.2	การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	84
5.1.3	การทดสอบในแปลงเกษตร.....	84
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	85
	รายการอ้างอิง.....	86
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดสอบ.....	88
	ภาคผนวก ข. ตารางผลการทดสอบ.....	100
	ภาคผนวก ค. แบบทางวิศวกรรมของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับ ยางพารา.....	116
	ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	119
	ประวัติผู้เขียน.....	121

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ ปี พ.ศ.2550-2554 4
3.1	ข้อมูลจำเพาะของรถแทรกเตอร์ ยี่ห้อ Yanmar รุ่น EF-494T 31
3.2	สมรรถนะของระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ Yanmar EF-494T..... 32
3.3	ข้อมูลจำเพาะของ PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3S-30MT/DS 36
4.1	ผลการวิเคราะห์ความสมดุลและพลังงานจลน์ของลูกเบี้ยว 57
4.2	ขนาดของหลุมเมื่อใช้หัวเจาะขนาด 50 mm 60
4.3	ขนาดของหลุมเมื่อใช้หัวเจาะขนาด 60 mm 60
4.4	การทดสอบชุดหยอดปุ๋ย 62
4.5	ระยะห่างระหว่างหลุม 64
4.6	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) 66
4.7	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 13 %(wb) 66
4.8	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 17 %(wb) 67
4.9	ปริมาณปุ๋ยที่หยอดในแต่ละหลุม..... 70
4.10	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) 70
4.11	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) 71
4.12	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) 71
4.13	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) 71
4.14	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) 72
4.15	สรุปปริมาตรหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย..... 72
4.16	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb)..... 77
4.17	การสิ้นเปลืองของรถแทรกเตอร์ขณะนวดลากเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ... 79
4.18	ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลง ยางพาราจำลอง.....80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.19	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb).....	83
ก.1	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 1.....	89
ก.2	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 2.....	89
ก.3	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 3.....	90
ก.4	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 1.....	90
ก.5	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 2.....	91
ก.6	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 3.....	91
ก.7	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 1.....	92
ก.8	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 2.....	92
ก.9	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 3.....	93
ก.10	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 1.....	93
ก.11	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 2.....	94
ก.12	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 3.....	94
ก.13	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 1.....	95
ก.14	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 2.....	95
ก.15	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 3.....	96
ก.16	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 1.....	96
ก.17	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 2.....	97
ก.18	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 3.....	97
ก.19	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 1.....	98
ก.20	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 2.....	98
ก.21	ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 3.....	99
ข.1	วิธีการสร้างตาราง.....	106
ข.2	Constant acceleration factors	107

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	เครื่องใส่ปุ๋ยเคมีแบบหว่านสำหรับรถแทรกเตอร์..... 6
2.2	ระบบของความเค้น (ก) ความเค้นบนชิ้นส่วนเล็ก ๆ ไป (ข) ความเค้นบนระนาบ xy 8
2.3	(ก) ความเค้นบนระนาบ (ข) แรงภายนอกบนระนาบ (ค) ทิศทางของระนาบ..... 9
2.4	(ก) วงกลมของมอร์สำหรับความเค้นในระนาบ (ข) วงกลมของมอร์ที่สมบูรณ์ 11
2.5	ความเค้นกระทำบนท่อโลหะทรงกระบอก (ก) ความเค้นดัดและความเค้นเฉือน (ข) ความเค้นดึงและความเค้นเฉือน (ค) ความเค้นในระบบ 2 มิติ 12
2.6	การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้นระหว่างทฤษฎีความเสียหายต่างๆ 15
2.7	การเปรียบเทียบความแม่นยำของทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียวกับผลการทดสอบ วัสดุเหนียวต่างๆ 16
2.8	เครื่องเจาะดินสำหรับปลุกต้นไม้ขนาดเล็ก 17
2.9	เครื่องปลูกและใส่ปุ๋ยต้นไม้ด้วยมือ 17
2.10	เครื่องโรยปุ๋ยขางพาราต้นแบบ 18
2.11	เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับรถแทรกเตอร์ของภาคเอกชน 19
2.12	เครื่องโรยปุ๋ยขางพารา..... 19
2.13	เครื่องปล่อยปุ๋ย..... 20
2.14	เครื่องใส่ปุ๋ยแบบ 4 แถว..... 20
2.15	เครื่องพ่นปุ๋ยในโตรเจน 21
2.16	เครื่องปล่อยปุ๋ยแอมโมเนีย..... 22
2.17	เครื่องใส่ปุ๋ยรากพืชแบบพกพา..... 22
2.18	ผาลไถพรวนสำหรับใส่ปุ๋ยชนิดเหลว..... 23
2.19	เครื่องเพาะเมล็ดและใส่ปุ๋ยชนิดเหลวขนาดเล็ก 24
2.20	อุปกรณ์สำหรับปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว..... 24
2.21	เครื่องปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว..... 25
2.22	เครื่องปล่อยปุ๋ยที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีเกาส์เซียน 25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 เครื่องพ่นปุ๋ย.....	26
2.24 เครื่องกระจายปุ๋ยแบบสองแถว	27
2.25 เครื่องพ่นปุ๋ยแบบพับและกางออก	27
2.26 อุปกรณ์สำหรับปล่อยปุ๋ยแบบเจาะหลุม	28
2.27 เครื่องเจาะหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย	28
2.28 เครื่องหยอดปุ๋ยแบบเจาะหลุมสำหรับต้นไม้น้ำขนาดเล็ก	29
2.29 เครื่องปล่อยปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกผักกาดหอม.....	29
3.1 รถแทรกเตอร์ชนิดขับเคลื่อน 4 ล้อ ขนาด 49 แรงม้า.....	30
3.2 ระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ Yanmar EF-494T	32
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก.....	33
3.4 ส่วนประกอบของชุดทดลองกระบะดินสำหรับการทดสอบอุปกรณ์ต่อพ่วง ทางการเกษตร	34
3.5 กระบะดิน	34
3.6 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก	35
3.7 PLC สำหรับเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ	35
3.8 พร็อกซีมิตี้เซนเซอร์ยี่ห้อ Omron (ก) รุ่น E2E2-X10MC1 (ข) รุ่น E2E-X5ME1	36
3.9 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ	38
3.10 Procedure of the dibbling fertilizer applicator	39
3.11 สภาพแปลงทดสอบ	41
3.12 ดัชนีค่าความแข็งดินในแปลงทดสอบ.....	41
3.13 การติดตั้งเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมกับรถแทรกเตอร์	42
3.14 การเตรียมอุปกรณ์และแปลงทดสอบ.....	42
3.15 รูปแบบการใส่ปุ๋ยในแปลงทดสอบ	43
3.16 การเตรียมแปลงทดสอบสำหรับการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย.....	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยในแปลงทดสอบ	44
3.18 สภาพแปลงยางพาราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	44
3.19 ดัชนีความแข็งดินในแปลงยางพารา.....	45
3.20 การทดสอบในแปลงยางพาราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	45
4.1 ความแข็งแรงของชิ้นส่วนกลไกชุดเจาะหลุม (ก) หัวเจาะ (ข) ข้อเหวี่ยง.....	51
4.2 ชุดเจาะหลุมแบบกลไกเงินิวาและกลไกข้อเหวี่ยง	51
4.3 กระบะดินสำหรับการทดสอบชุดเจาะหลุม	52
4.4 (ก) การจำลองสภาพหลุม (ข) การวัดขนาดหลุม.....	53
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมกับความชันของดินทุกระดับความเร็ว.....	53
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมกับความเร็วการเคลื่อนที่ทุกระดับความชัน.....	54
4.7 หัวเจาะ	55
4.8 ไคอะแกรมระยะขจัดของหัวเจาะ	55
4.9 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของลูกเบี้ยว (ก) ความเค้น (ข) ความเครียด (ค) การขูดตัว	58
4.10 กลไกลูกเบี้ยว.....	59
4.11 ชุดโครงหลักและโครงรอง	61
4.12 ชุดหยอดปุ๋ยของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ	62
4.13 Schematic diagram of control unit	63
4.14 Distance metering steel disk.....	64
4.15 ปริมาตรหลุมที่เจาะด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยที่ระดับความชันต่างๆ	67
4.16 คุณภาพการหยอดปุ๋ยด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติที่ความชันต่างๆ.....	68
4.17 งานกำหนดระยะห่างระหว่างหลุม	68
4.18 ชุดควบคุมอัตโนมัติ PLC.....	69
4.19 ถังบรรจุปุ๋ย.....	69
4.20 ปริมาตรหลุมที่เจาะด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติที่ระดับความชันต่างๆ.....	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21	คุณภาพการหยอดปุ๋ยด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติที่ระดับความชื้นต่างๆ 74
4.22	ปริมาตรหลุมที่เจาะด้วยเครื่องหยอดปุ๋ยอัตโนมัติ 74
4.23	คุณภาพการหยอดปุ๋ยด้วยเครื่องหยอดปุ๋ยอัตโนมัติ 74
4.24	การปล่อยปุ๋ยลงหลุม 75
4.25	การกลบหลุมหลังการปล่อยปุ๋ย 76
4.26	การวัดแรงดึงในแนวระดับของเครื่องใส่ปุ๋ยในแปลงทดสอบ 76
4.27	การเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติใน สภาวะการทดสอบในกระบะดินและแปลงเกษตร (ก) ปริมาตรหลุม และ (ข) คุณภาพ ของการหยอดปุ๋ย 78
4.28	แรงดึงในแนวระดับขณะมีภาระ 78
4.29	แรงดึงในแนวระดับขณะไม่มีภาระ 79
4.30	การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องใส่ปุ๋ยในแปลงยางพาราจำลอง 80
4.31	การปล่อยปุ๋ยลงหลุม 81
4.32	การกลบหลุมหลังการปล่อยปุ๋ย 82
4.33	สภาพแปลงหลังทำงาน 82
4.34	การเปรียบเทียบการหยอดปุ๋ยใน (ก) แปลงยางพารา (ข) แปลงเกษตร และ (ค) กระบะดิน 83

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่การทำงาน
C_a	=	ความสามารถในการทำงานจริง
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของฐาน
D_l	=	แรงจลลาคขณะมีภาระ
D_{nl}	=	แรงจลลาคขณะไม่มีภาระ
E_f	=	ประสิทธิภาพการทำงาน
H	=	ความสูงของกองวัสดุ
L_m	=	ความยาวของหลุมจริง
L_t	=	ความยาวของหลุมทางทฤษฎี
m	=	มวลรวมของวัสดุ
M_{fuel}	=	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด
M_{f1}	=	ปริมาณปุ๋ยทางทฤษฎี
M_{f2}	=	ปริมาณปุ๋ยจริง
M_{s1}	=	มวลของดินก่อนอบแห้ง
M_{s2}	=	มวลของดินหลังอบแห้ง
MC_w	=	ความชื้นของดินเปียก
S_l	=	ระยะเคลื่อนที่เมื่อมีภาระ
S_{nl}	=	คือ ระยะเคลื่อนที่เมื่อไม่มีภาระ
T_e	=	เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง
T_t	=	เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด
V	=	ปริมาตรรวมของวัสดุ
W_m	=	ความกว้างของหลุมจริง
W_t	=	ความกว้างของหลุมทางทฤษฎี
ϕ	=	มุมกองของวัสดุขณะอยู่นิ่ง
ρ	=	ความหนาแน่นของวัสดุ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยาง 16.89 ล้านไร่กระจายอยู่ในแหล่งปลูกยางเดิมทางภาคใต้ และแหล่งปลูกยางใหม่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกและภาคเหนือ เป็นพื้นที่สวนยางที่เปิดกรีดแล้วประมาณ 11.77 ล้านไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2553) สวนยางเหล่านี้จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อให้ต้นยางเจริญเติบโตสามารถเปิดกรีดได้เร็วและให้ผลผลิตสูง การใส่ปุ๋ยจะทำให้ยางพาราให้ผลผลิตสูงขึ้นร้อยละ 19 เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย (นุชนารถ, 2543) อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยจำเป็นต้องทำให้ถูกต้องตามสูตรและอัตราการให้ปุ๋ย

ยางพาราต้องการปริมาณธาตุอาหารแปรผันตามอายุของต้นยาง ชนิดของดินและแหล่งปลูก ธาตุอาหารที่ยางพาราต้องการมากได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากปุ๋ยเคมี พื้นที่ที่ใช้ปลูกยางส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และธาตุอาหารบางส่วนถูกนำออกจากดินในรูปของน้ำยาง โดยน้ำยาง 1 ton จะสูญเสียธาตุไนโตรเจน 20 kg ฟอสฟอรัส 5 kg โพแทสเซียม 25 kg และแมกนีเซียม 5 kg รวมทั้งธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง หากไม่มีการใส่ปุ๋ยเพื่อชดเชยธาตุอาหารที่สูญเสียไปจากดิน จะทำให้ดินขาดความสมดุลของธาตุอาหาร

ในปี 2546 มีการประเมินว่าเฉพาะธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่ถูกนำออกไปในรูปของเนื้อยาง มีปริมาณ 143,000 ตันของเนื้อปุ๋ย หรือหากคิดเป็นปุ๋ยผสมสูตร 20-11-30 (N-P₂O₅-K₂O) จะได้ปริมาณปุ๋ยประมาณ 286,000 ton แต่จากรายงานของ FAO ปี 2544 ระบุว่าประเทศไทยใช้ปุ๋ยประมาณ 11.2 กิโลกรัมธาตุอาหาร (N-P-K) ต่อไร่ต่อปี ซึ่งต่ำกว่าอัตราแนะนำของทางราชการที่แนะนำให้ใช้ในอัตรา 42.4 กิโลกรัมธาตุอาหารต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณปุ๋ยที่ใช้เพียงร้อยละ 26 ของอัตราแนะนำ ดังนั้นหากพิจารณาปุ๋ยที่สูญเสียไปกับเนื้อยาง ในปี 2546 จำนวน 286,000 ton แต่มีการใส่ปุ๋ยร้อยละ 26 จะทำให้ดินขาดสมดุล N ถึง 211,640 ton ดังนั้นหากต้องการพัฒนาประเทศไทยให้มีศักยภาพการผลิตและส่งออกยางเป็นอันดับ 1 ของโลกอย่างยั่งยืนแล้ว การใส่ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพสูงสุดมีความจำเป็นอย่างมาก (สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2549)

วิธีการใส่ปุ๋ยเคมีแก่ต้นยางพาราที่เกษตรกรนิยม คือ การหว่านปุ๋ย และการฝังกลบ วิธีการใส่ปุ๋ยทั้งสองวิธีสามารถใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรกลเกษตร เมื่อเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยทั้งสองวิธี

แล้วจะเห็นว่าวิธีการหว่านปุ๋ยจะใช้แรงงานและเวลาในการใส่ปุ๋ยน้อยกว่าวิธีฝังกลบ แต่ต้องใช้ปุ๋ยในปริมาณที่มากกว่าเพราะปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยส่วนหนึ่งจะระเหิดหากดินมีความชื้นน้อย เนื่องจากเมื่อดินที่หว่านจะสัมผัสกับอากาศ ลม และแสงแดดทำให้ธาตุอาหารของปุ๋ยลดลง นอกจากนี้ปุ๋ยอาจจะละลายไปกับน้ำฝน ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยต่ำวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบเป็นการใส่ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการหว่าน แต่ก็มีข้อเสียคือ มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า และการเปิดร่องอาจมีโอกาสดักครากต้นยางได้สูงมาก เนื่องจากการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต้องใช้ความลึกของร่องประมาณ 7–10 cm เท่านั้น ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากสำหรับเกษตรกรในการเปิดร่อง

มงคล (2552) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องโรยปุ๋ยยางพาราสำหรับรถไถเดินตาม ให้เหมาะกับการใช้งานของเกษตรกรสวนยางรายย่อยซึ่งใช้รถไถเดินตามเป็นต้นกำลังลากจูง และใช้ผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียว การโรยปุ๋ยใช้หลักการเปิดร่องและกลบร่องโดยจานไถขนาดเล็กสองจาน แต่อย่างไรก็ตามเครื่องโรยปุ๋ยยางพารานี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น ไม่สามารถใช้งานในพื้นที่ปลูกยางพาราที่เป็นดินลูกรังหรือดินเหนียวได้ ตัวเปิดร่องมักจะตัดครากยางพาราตลอดเวลาที่ทำการโรยปุ๋ยและความยาวของรถไถเดินตามเมื่อต่อพ่วงกับเครื่องโรยปุ๋ยยางพาราแล้วมีความยาวมาก ทำให้การเลี้ยวบริเวณหัวงานทำได้ยาก เกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน

ปัจจุบันรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กกำลังได้รับความนิยมจากเกษตรกร เพราะมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่ารถไถเดินตาม ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยยางพาราของเกษตรกร โดยการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยยางพาราแบบเจาะหลุมสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ให้สามารถใช้ได้กับดินทุกชนิดและลดปัญหาการตัดครากต้นยางพารา อันจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยยางพาราและลดต้นทุนของเกษตรกรได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาและออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา
- 1.2.2 สร้างเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา
- 1.2.3 ทดสอบหาสมรรถนะในการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะทำการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยยางพาราให้เหมาะกับการใช้งานของเกษตรกรที่ส่วนใหญ่ครอบครองรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งมีกำลังไม่เกิน 50 hp ในพื้นที่ปลูกยางพาราที่มีพื้นที่เรียบจนถึงพื้นที่ที่มีความลาดเอียงไม่เกิน 30° และรถแทรกเตอร์สามารถปฏิบัติงานได้ ซึ่งไม่เกิน

กำลังของระบบไฮดรอลิก รถแทรกเตอร์ การทดสอบใช้พื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ใช้รถแทรกเตอร์ขนาดเล็กยี่ห้อ YANMAR รุ่น EF494T เป็นเครื่องต้นกำลัง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1.4.1 ด้านวิชาการ ทำให้ทราบองค์ความรู้ในการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยขางพาราให้เหมาะสมต่อการใช้งานของเกษตรกรสวนขางพาราผลการออกแบบและทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยขางพาราสามารถนำไปตีพิมพ์ในวารสารวิชาการได้

1.4.2 ด้านเศรษฐกิจ การใส่ปุ๋ยขางพาราโดยใช้เครื่องใส่ปุ๋ยจะทำให้ประสิทธิภาพในการใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้น เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ได้ทำให้รายได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรทั้งรายย่อยและรายใหญ่ตามท้องถิ่นต่างๆ ทั่วประเทศสามารถรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตจากโครงการนี้ซึ่งจะเผยแพร่ออกไปสู่ผู้สนใจต่างๆ

1.4.3 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น กรมวิชาการเกษตรกรมส่งเสริมการเกษตรและผู้ผลิตเครื่องจักรกลเกษตร สามารถนำผลการวิจัยไปใช้เพื่อเผยแพร่ความรู้ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และผลิตจำหน่ายพร้อมทั้งส่งเสริมการใช้เครื่องจักรกลเกษตรของภาคการเกษตรได้



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางพารา

2.1.1 การผลิตยางพารา

ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลกตั้งแต่ปี 2550-2554 ขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1.7 ต่อปี โดยปี 2554 ประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ ไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มีปริมาณการผลิตคิดเป็นร้อยละ 70.2 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก ประกอบด้วย ไทยร้อยละ 33.5 อินโดนีเซียร้อยละ 27.1 และมาเลเซียร้อยละ 9.6 ประเทศอื่น ๆ ผลิตยางธรรมชาติได้น้อยกว่าปีละ 1 ล้านตัน ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ ปี พ.ศ.2550-2554

ประเทศ	2550	2551	2552	2553	2554
1. ไทย	3,056	3,090	3,164	3,252	3,573
2. อินโดนีเซีย	2,755	2,751	2,440	2,736	2,886
3. มาเลเซีย	1,200	1,072	856	939	1,024
4. อินเดีย	811	811	820	851	885
5. เวียดนาม	606	660	711	755	776
6. จีน	590	560	644	665	685
7. เกาหลีใต้	183	194	203	227	227
8. ศรีลังกา	118	129	137	153	160
9. ไลบีเรีย	121	84	60	62	76
10. ฟิลิปปินส์	101	103	98	99	101
11. อื่น ๆ	349	604	557	662	266
รวม	9,890	10,128	9,690	10,401	10,659
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	0.64	2.41	-4.32	7.34	2.48

หน่วย : 1000 ตัน

2.1.2 พื้นที่ปลูกยางพารา

พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของโลกปี 2553 มีประมาณ 72.21 ล้านไร่ ร้อยละ 76.4 เป็นพื้นที่ปลูกที่อยู่ในประเทศกลุ่มอาเซียน สภาพสวนยางส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็ก ใช้แรงงานในครัวเรือนเป็นหลัก อินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดจำนวน 21.53 ล้านไร่ รองลงมาไทย 18.76 ล้านไร่ และมาเลเซีย 6.38 ล้านไร่ ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกยางของประเทศอื่น ๆ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางในปี 2553 ทั้งสิ้น 18,761,231 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ซึ่งมีพื้นที่ 15,362 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 22 โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 11,906,882 ไร่ รองลงมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3,477,303 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือรวมภาคกลาง 2,509,644 ไร่ และภาคเหนือ 867,402 ไร่ รวมทั้งสิ้น 65 จังหวัด จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 1,921,698 ไร่ พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศ เป็นพื้นที่ที่ยังอายุมากกว่า 6 ปี จำนวน 12,765,636 ไร่ โดยคิดร้อยละ 76 อยู่ในภาคใต้

การเตรียมพื้นที่ปลูกยางพาราควรปรับพื้นที่ให้มีความเหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน แนวการปลูกควรอยู่ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก และห่างจากแนวเขตสวนไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร การวางแผนปลูกในพื้นที่ลาดชันควรทำเป็นขั้นบันได ระยะปลูกยางพาราอาจกำหนดสัดส่วนของระยะต้นและระยะแถวเป็น 3x6 หรือ 3x7 เมตร ซึ่งจะสามารถปลูกต้นยางพาราได้ประมาณ 80 ต้นต่อไร่ การปลูกต้นยางพาราควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝน โดยใช้ขนาดของหลุม 50x50x50 cm

การไถพรวนดินในแปลงยางพาราเพื่อกำจัดวัชพืชหรือใส่ปุ๋ยมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา (นุชนารถ, 2527) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการไถพรวนในแปลงยางพาราต่อการเจริญเติบโตของยางพารา โดยเปรียบเทียบกับการปลูกพืชคลุมตระกูลถั่ว จากการวิจัยพบว่า การไถพรวนในระดับลึกมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางอย่างมาก ส่วนการไถพรวนในระดับตื้นประมาณ 10 cm และไม่เกิน 15 cm จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางน้อย

2.1.3 การใส่ปุ๋ยยางพารา

ดินในพื้นที่ปลูกยางพาราส่วนใหญ่จะมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อบำรุงต้นยางพาราอย่างถูกต้องและเหมาะสม เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้นยางพารา ปุ๋ยสำหรับยางพาราที่ถูกแนะนำ คือ ปุ๋ยสูตร 20-8-20 (เขตปลูกยางเดิม) หรือ 20-10-12 (เขตปลูกยางใหม่) สำหรับต้นยางพาราก่อนเปิดกรีด และปุ๋ยสูตร 30-5-18 สำหรับต้นยางพาราหลังเปิดกรีด

การยางแห่งประเทศไทยได้แนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยสำหรับต้นยางพารา โดยอัตราการใส่ปุ๋ยยางพาราก่อนเปิดกรีดขึ้นอยู่กับอายุของต้นยางพารา ส่วนอัตราการใส่ปุ๋ยสำหรับต้นยางพาราหลังเปิดกรีดเท่ากับ 500 กรัมต่อต้น ปีละ 2 ครั้ง โดยใส่ต้นและปลายฤดูฝน

การใส่ปุ๋ยขางพาราสามารถทำได้โดยวิธีการหว่านและการฝังกลบ พื้นที่ปลูกขางพาราที่มีสภาพเป็นพื้นราบนิยมใส่ปุ๋ยด้วยการหว่านหรือการฝังกลบแบบเป็นแถว ส่วนพื้นที่ปลูกขางพาราที่มีสภาพพื้นที่ลาดชันนิยมใส่ปุ๋ยด้วยการฝังกลบแบบเป็นหลุม การใส่ปุ๋ยโดยใช้แรงงานคนสามารถปฏิบัติงานได้ทุกสภาพพื้นที่ แต่การใส่ปุ๋ยด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยยังมีข้อจำกัดใช้ได้เฉพาะพื้นที่ค่อนข้างราบ การใส่ปุ๋ยขางพาราหลังเปิดกรีดในพื้นที่ราบควรใส่ปุ๋ยบริเวณกึ่งกลางระหว่างแถว

สำหรับการใส่ปุ๋ยขางพาราด้วยการหว่าน เกษตรกรนิยมใช้เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งมีทั้งแบบแรงเหวี่ยงและแบบลมเป่า โดยอาศัยกำลังจากเพลอาานายกำลังของรถแทรกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เครื่องใส่ปุ๋ยเคมีแบบหว่านสำหรับรถแทรกเตอร์

จากเอกสารแนะนำการใช้ปุ๋ยขางพาราของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ แสดงให้เห็นว่าวิธีการใส่ปุ๋ยมีผลต่อการสูญเสียของปุ๋ยทั้งในรูปของการชะล้างและการระเหิด ดังนั้นจึงแนะนำให้ใส่โดยวิธีฝังกลบ หรือจุดหลุมลึกประมาณ 5 ถึง 10 cm จำนวน 2 หลุมต่อต้น จากผิวดิน เมื่อใส่ปุ๋ยแล้วเกลี่ยดินกลบ (นุชนารถ, 2550)

2.2. การออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร

2.2.1 ความเค้นผสมในระบบสองมิติ

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไปมีรูปทรงเป็น 3 มิติ ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนก็เป็นแบบ 3 มิติ ด้วย เนื่องจากรูปร่างของชิ้นส่วนจะมีความยาวด้านหนึ่งน้อยกว่าอีกสองด้านมาก และความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางด้านนั้นก็มักจะมีขนาดน้อยกว่าในอีกสองทิศทางด้วย ดังนั้นจึงสามารถสมมติให้ปัญหาทางวิศวกรรมส่วนใหญ่เป็นระบบความเค้นแบบ 2 มิติ ได้ รูปที่ 2.2 แสดงสถานะของความเค้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนชิ้นส่วนเครื่องจักรกลซึ่งสามารถสรุปจาก 3 มิติ เหลือ 2 มิติ ได้ σ_x, σ_y คือ ความเค้นตั้งฉากซึ่งมีค่าเป็นบวก τ_{xy}, τ_{yx} คือ ความเค้นเฉือนซึ่งมีค่าเป็นบวกเช่นกัน เมื่อชิ้นส่วนนี้อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้น $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ (พุงศักดิ์, 2552)

ในการออกแบบเครื่องจักรกล จะใช้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนนั้น ๆ เนื่องจากค่าความเค้นตั้งฉาก σ_x, σ_y และค่าความเค้นเฉือน τ_{xy}, τ_{yx} ยังไม่ใช่ค่าความเค้นสูงสุดบนชิ้นส่วน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาความเค้นสูงสุดบนชิ้นส่วน โดยค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถแสดงให้เห็นในเทอมของค่าความเค้นตั้งฉากและความเค้นเฉือนได้ แต่ไม่สามารถหาได้โดยวิธีการบวกความเค้นเหล่านี้กันโดยตรง

พิจารณาความเค้นบนระนาบ 2 มิติ บนชิ้นส่วนเล็ก ๆ รูปสี่เหลี่ยมในรูปที่ 2.2(ข) ถ้าตัดชิ้นส่วนนี้ด้วยระนาบเอียงทำมุม θ กับแกนตั้ง จะมีความเค้นดึง σ_n ตั้งฉากกับหน้าตัดและความเค้นเฉือน τ_n ขนานกับหน้าตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ก) แรงภายนอกที่กระทำต่อชิ้นส่วนนี้สามารถหาได้จากผลคูณระหว่างความเค้นกับพื้นที่หน้าตัดของแต่ละด้าน ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ข)

เมื่อสมดุลแรงบนชิ้นส่วนนี้ตามหลักกลศาสตร์ ทำให้สามารถหาค่า ความเค้น σ_n และ τ_n ในเทอมของ ความเค้นตั้งฉาก σ_x, σ_y และความเค้นเฉือน τ_{xy} ได้ตามสมการ

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (2.1)$$

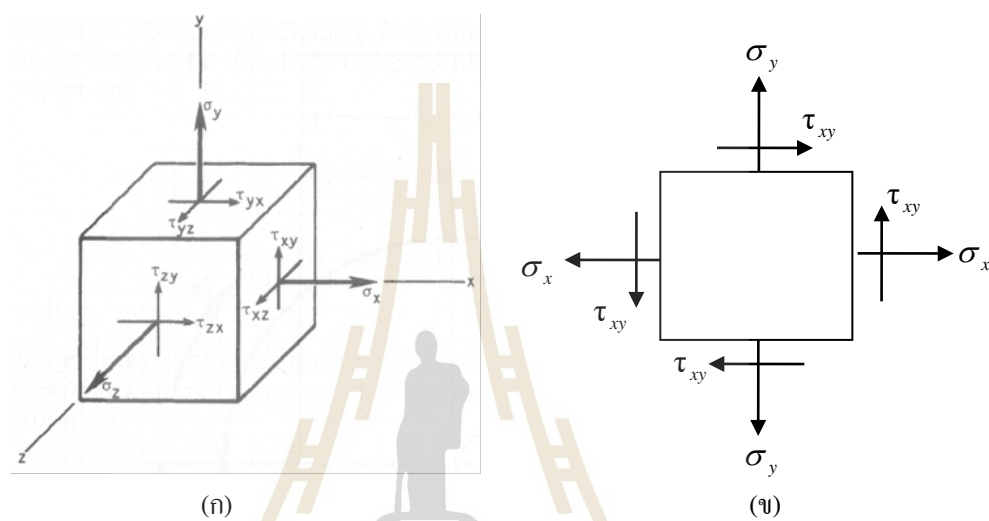
$$\tau_n = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (2.2)$$

(ก) ความเค้นหลัก

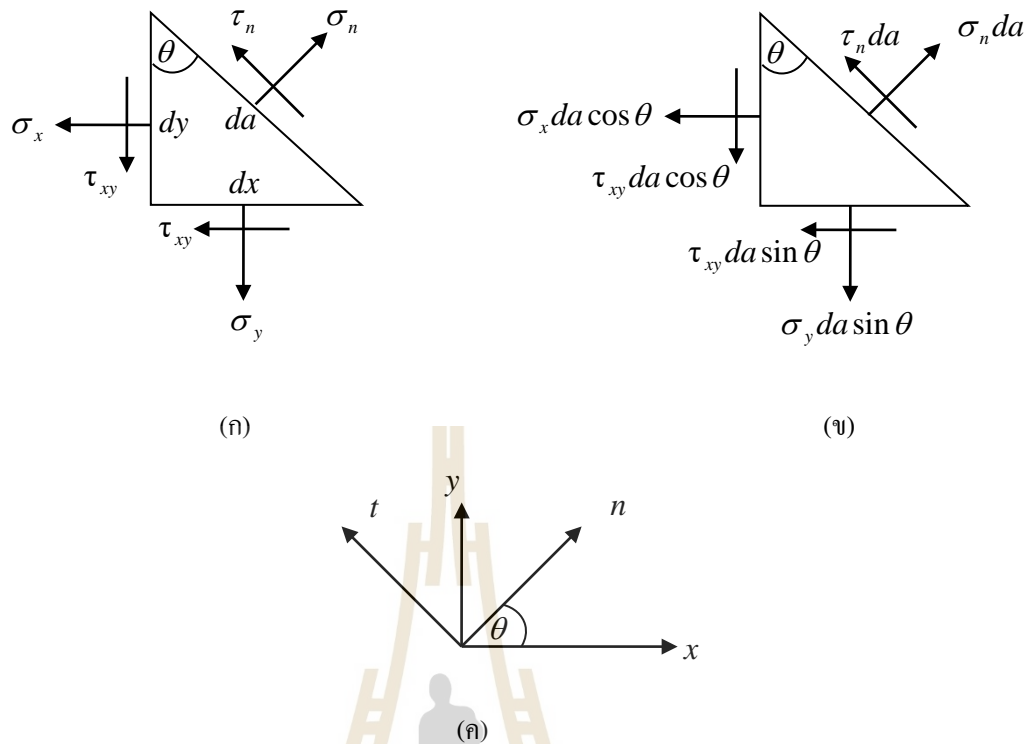
ความเค้นหลัก (principal stress) สามารถหาได้จากการดิฟเฟอเรนเชียล (differentiate) σ_n เทียบกับ θ และกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ในสมการที่ 2.1 จะได้ สมการความเค้นหลัก

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.3)$$

โดยที่ σ_1, σ_2 คือ ความเค้นหลัก (principal stress) และในกรณีนี้ค่าความเค้นหลักค่าที่สาม σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.2 ระบบของความเค้น (ก) ความเค้นบนชิ้นส่วนเล็ก ๆ ไป (ข) ความเค้นบนระนาบ xy
(Shigley et al., 2004)



รูปที่ 2.3 (ก) ความเค้นบนระนาบ (ข) แรงภายนอกบนระนาบ (ค) ทิศทางของระนาบ

(ข) ความเค้นเฉือนสูงสุดและต่ำสุด

ความเค้นเฉือนสูงสุดและต่ำสุด (maximum and minimum shear stresses) สามารถหาได้จากการดิฟเฟอเรนเชียล (differentiate) τ_n เทียบกับ θ และกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ในสมการที่ 2.2 จะได้ สมการความเค้นเฉือน

$$\tau_1, \tau_2 = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.4)$$

โดยที่ τ_1, τ_2 คือ ความเค้นเฉือนสูงสุดและต่ำสุด ตามลำดับ

(ค) การหาความเค้นหลักและความเค้นเฉือนสูงสุดด้วยวงกลมของมอร์

การหาค่าความเค้นหลักและความเค้นเฉือนสูงสุดสามารถหาได้โดยการเขียน วงกลมของมอร์ (Mohr's circle) ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นต่าง ๆ ทำให้รู้ค่าและทิศทางของความเค้นที่จุดต่าง ๆ ได้ รูปที่ 2.4 เป็นการสร้างวงกลมของมอร์ด้วยการเขียนระบบพิกัด σ_n, τ_n โดยให้

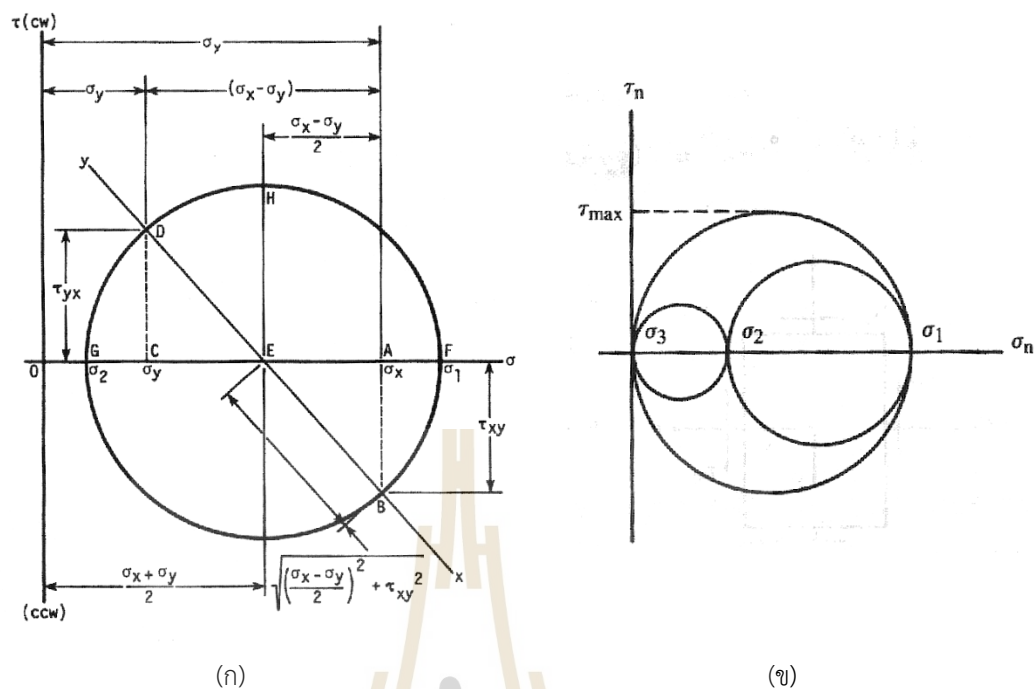
แกนระนาบเป็น σ_n และแกนตั้งเป็น τ_n ในระบบพิกัดนี้จะกำหนด ความเค้นดึง (tensile stress) ให้อยู่ทางขวาของจุด O และความเค้นกด (compressive stress) อยู่ทางซ้าย ความเค้นเฉือนตามเข็มนาฬิกาให้เขียนขึ้นตามแกนตั้ง ความเค้นเฉือนทวนเข็มนาฬิกาให้เขียนลงตามแกนตั้ง

สถานะของความเค้นในรูปที่ 2.3(ก) สามารถนำมาแสดงด้วยวงกลมของมอร์ ได้ดังรูป 2.4 ค่า σ_x , σ_y เขียนแทนด้วยระยะ OA และ OC ตามลำดับ และ จุด E เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด A และ C ค่า τ_{xy} , τ_{yx} เขียนแทนด้วยระยะ AB และ CD ตามลำดับ ระยะ ED คือ รัศมีของวงกลมของมอร์ ความเค้นหลัก σ_1 และ σ_2 จะเกิดขึ้นที่จุด F และ G ตามลำดับ ความเค้นเฉือนในระนาบสูงสุดและต่ำสุด เกิดขึ้นที่จุด H และ I ตามลำดับ

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า σ_1 และ σ_2 เป็นบวกทั้งคู่ และ σ_1 มากกว่า σ_2 เนื่องจากความเค้นหลัก σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นค่าความเค้นเฉือนสูงสุด τ_{max} สามารถหาได้จากวงกลมของมอร์ที่สมบูรณ์ในรูปที่ 2.4(ข) ซึ่งเป็นรัศมีของวงกลมวงใหญ่ที่สุด

(ง) ความเค้นผสมในชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล

ความเค้นผสมที่พบได้บ่อยในการออกแบบเครื่องจักรกลถูกแสดงในรูปที่ 2.5 เมื่อพิจารณาที่ระนาบ n-n บนท่อนโลหะทรงกระบอกในรูปที่ 2.5(ก) พบว่ามีความเค้นดัดและความเค้นเฉือนกระทำบนชิ้นลูกบาศก์ A โดยความเค้นเหล่านี้เกิดจากโมเมนต์ดัดและโมเมนต์บิด ตามลำดับ ขณะที่ท่อนโลหะทรงกระบอกในรูปที่ 2.5(ข) จะมีความเค้นดึงและความเค้นเฉือนที่เกิดจากแรงดึงและโมเมนต์บิด ตามลำดับ ความเค้นบนระนาบสำหรับกรณีเหล่านี้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.5(ค) (ฉัญญา, 2548)



รูปที่ 2.4 (ก) วงกลมของมอร์สำหรับความเค้นในระนาบ (Shigley et al., 2004)

(ข) วงกลมของมอร์ที่สมบูรณ์ (วริทธิ์ และชาญ, 2556)

ดังนั้น ความเค้นดึง σ_n ในระนาบเอียงทำมุม θ กับแกนตั้งในสมการที่ 2.1 จะมีค่าเป็น

$$\sigma_n = \frac{\sigma}{2} + \frac{\sigma}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (2.5)$$

ส่วนความเค้นเฉือน τ_n ในสมการที่ 2.2 มีค่าเป็น

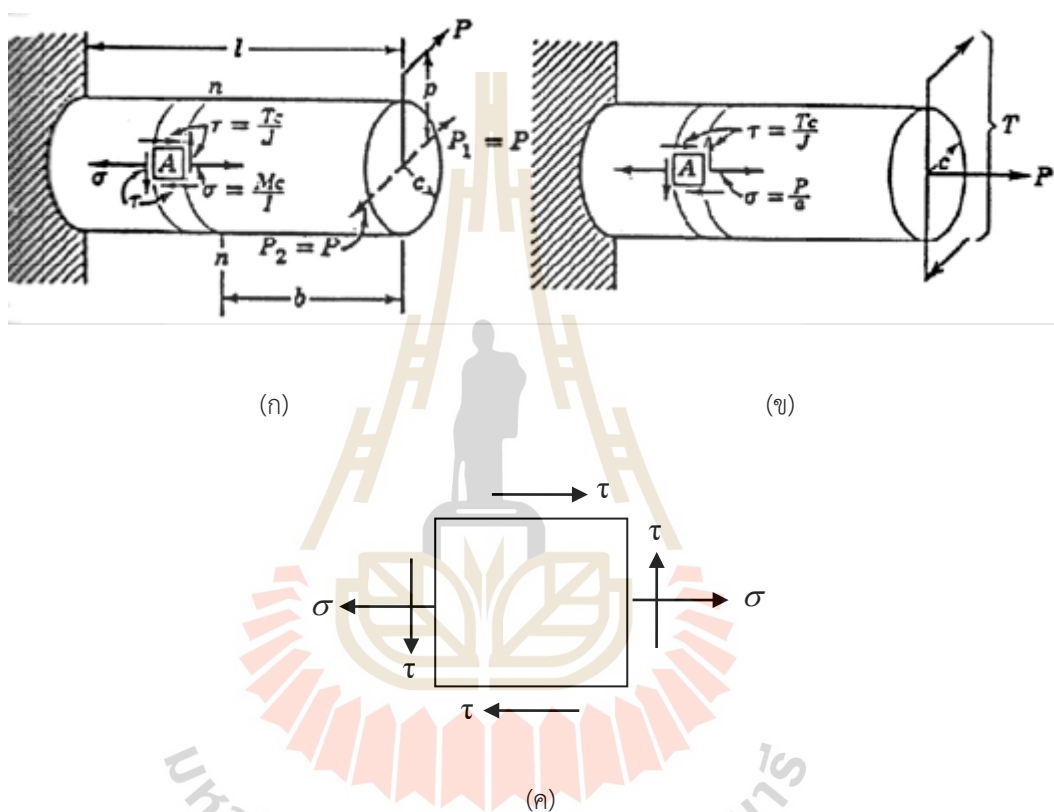
$$\tau_n = -\frac{\sigma}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (2.6)$$

ความเค้นหลักสามารถลดสมการเหลือเพียง

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (2.7)$$

จากสมการที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า σ_1 และ σ_2 มีเครื่องหมายต่างกันอยู่เสมอ และเนื่องจากความเค้นหลัก σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น ความเค้นเฉือนสูงสุดมีค่า ดังนี้

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.5 ความเค้นกระทำบนท่อน โลหะทรงกระบอก (ก) ความเค้นดัดและความเค้นเฉือน (ข) ความเค้นดึงและความเค้นเฉือน (ค) ความเค้นในระบบ 2 มิติ

2.2.2 ทฤษฎีความเสียหาย

เนื่องจากความเสียหายในชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลส่วนใหญ่จะเกิดจากความเค้นผสมในชิ้นส่วน ดังนั้น ทฤษฎีความเสียหายจึงถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้วิเคราะห์และอธิบายความเสียหายของชิ้นส่วนเหล่านั้น ในปัจจุบันทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเปราะที่นิยมใช้คือ ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด (maximum normal stress theory) ทฤษฎีของคูลอมบ์-มอร์สำหรับวัสดุเปราะ (brittle Coulomb-Mohr theory) และทฤษฎีของมอร์คัดแปลง (modified Mohr theory) ส่วนทฤษฎี

ความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียว คือ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum shear stress theory) ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล (octagonal shear stress theory) ทฤษฎีพลังงานการบิดรูป (distortion energy theory) และทฤษฎีของคูลอมป์-มอร์สำหรับวัสดุเหนียว (ductile Coulomb-Mohr theory) (พวงศักดิ์, 2552)

(ก) ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด เป็นทฤษฎีที่เหมาะสมสำหรับวัสดุที่เปราะ แต่ยังสามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดครากจึงใช้ความต้านแรงดึงอติเมต (σ_u) เป็นหลัก ทฤษฎีนี้กล่าวว่า “วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าความต้านแรงดึงของวัสดุนั้น” ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma_{\max} = S_u \quad (2.9)$$

ทฤษฎีสามารถนำมาใช้กับวัสดุที่มีจุดครากได้ ในกรณีนี้จะใช้ ความต้านแรงดึงคราก (Yield Strength) เป็นหลักก็ได้

(ข) ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า เกณฑ์ของเทรสกา (Tresca's criterion) เป็นทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียวที่นิยมใช้มาก เพราะใช้ได้ง่ายและปลอดภัย ทฤษฎีนี้กล่าวว่า “วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านทานแรงเฉือนสูงสุดของวัสดุชนิดเดียวกันที่ได้จากการทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุดคราก”

ความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงจนถึงจุดครากมีค่าเท่ากับ $0.5S_y$ ซึ่งเกิดบนระนาบเอียงทำมุม 45° กับแนวแรงดึงขึ้นทดสอบ ดังนั้น สำหรับทฤษฎีนี้ความเสียหายจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อ

$$\tau_{\max} = S_{sy} = 0.5S_y \quad (2.10)$$

พิจารณาความเค้นในรูปที่ 2.12 ในกรณีทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดสามารถกำหนดให้ ความเค้นเฉือนสูงสุดมีค่าเป็น $\tau_{\max} = \frac{S_{sy}}{N}$ เมื่อแทนค่า τ_{\max} ลงในสมการที่ 2.8 แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้สมการสำหรับการออกแบบชิ้นงาน

$$\frac{1}{N} = \left(\left(\frac{\tau}{S_{sy}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{S_y} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (2.11)$$

โดยที่ $S_{sy} = 0.5S_y$

(ค) ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

ในทางทฤษฎีพลาสติกซิติ (plasticity) มักจะเรียกชื่อทฤษฎีนี้ว่า ทฤษฎีของฟอนมิส (Von Mises หรือ Huber-Hencky criterion) ทั้งนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่บุคคลผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ขึ้นมาใช้ (วริทธิ์ และชาญ, 2556)

ทฤษฎีนี้กล่าวว่า “วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลในวัสดุมีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงขึ้นทดลองขณะถึงจุดคราก”

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไปจะพิจารณาความเค้นใน 2 มิติ และใช้ค่าความปลอดภัย N เมื่อพิจารณาความเค้นในรูปที่ 2.5 ในกรณีทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลสามารถหาสมการสำหรับการออกแบบชิ้นงานได้ดังนี้

$$\frac{1}{N} = \left(\left(\frac{\tau}{S_{sy}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{S_y} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (2.12)$$

โดยที่ $S_{sy} = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$

ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลจะให้ผลการคำนวณเหมือนกันกับ ทฤษฎีพลังงานแปรรูป

(ง) การเปรียบเทียบขอบเขตและความแม่นยำของทฤษฎีความเสียหาย

รูปที่ 2.6 แสดงขอบเขตของความเค้นผสมที่ยอมให้มีได้ในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ออกแบบโดยทฤษฎีความเสียหายแบบต่างๆ โดยให้ σ_1 เป็นแกนราบ และ σ_2 เป็นแกนตั้ง เมื่อเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหายทั้ง 3 ทฤษฎี พบว่า

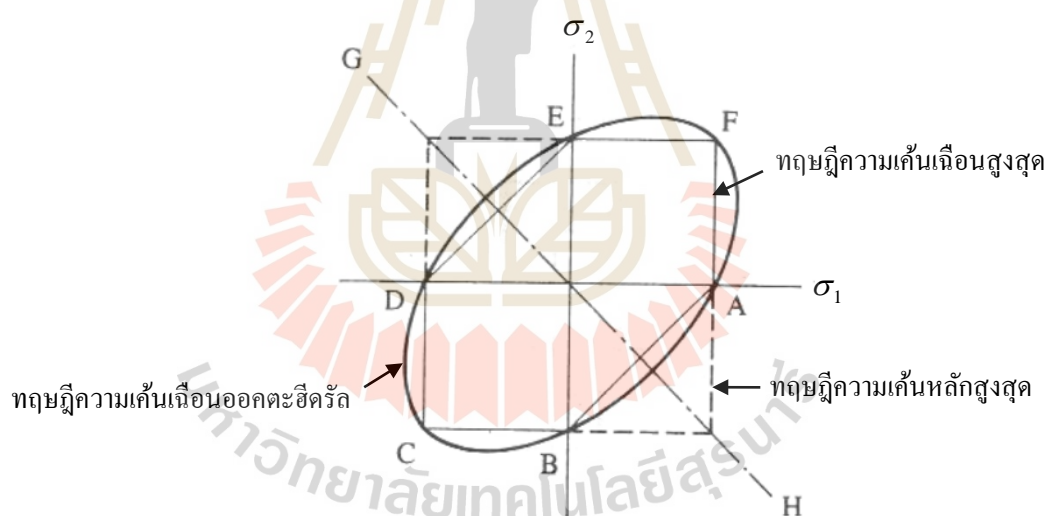
- ถ้าความเค้นภายในชิ้นงานอยู่ ณ บริเวณจุด A B C D E และ F แล้ว ทฤษฎีทั้งสามจะให้ความหมายของชิ้นส่วนเท่ากัน

- ในควอดแรนท์ที่หนึ่งและที่สาม ความเค้นจากทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดและทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดมีค่าเท่ากัน

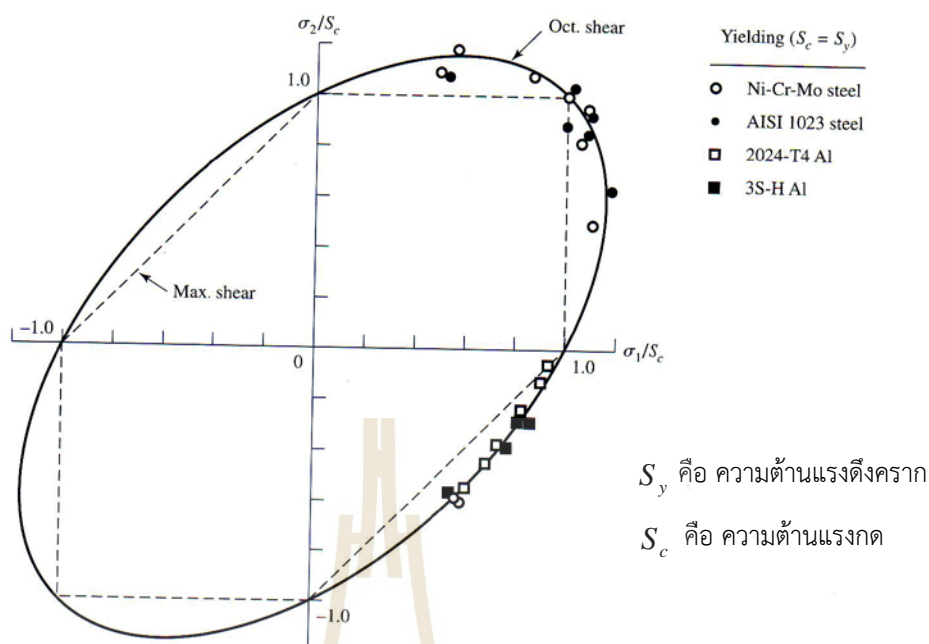
- เนื่องจากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดมีพื้นที่ครอบคลุมน้อยสุด ซึ่งงานที่ถูกคำนวณหาขนาดโดยทฤษฎีนี้ จะมีขนาดโตกว่าที่คำนวณจากทฤษฎีอีก 2 ทฤษฎี (ยกเว้นจุดร่วมกัน)

เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียวกับผลการทดสอบวัสดุเหนียวต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 พบว่า การคำนวณค่าความเค้นโดยใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทดสอบวัสดุจริงมากกว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดจากทฤษฎีความเสียหายทั้ง 3 ทฤษฎี สามารถสรุปแนวทางสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกษตรได้ดังนี้

- ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดนิยมใช้สำหรับวัสดุเปราะ
- ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดนิยมใช้สำหรับวัสดุเหนียว เพื่อการออกแบบชิ้นส่วน ทั่วๆ ไป
- ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลนิยมใช้สำหรับวัสดุเหนียว เพื่อการออกแบบชิ้นส่วนที่ต้องการความแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้นระหว่างทฤษฎีความเสียหายต่างๆ
(วริทธิ์ และชาญ, 2548)



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบความแม่นยำของทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียวกับผลการทดสอบวัสดุเหนียวต่างๆ (Budynas and Nisbett, 2008)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การพัฒนาเครื่องเจาะหลุม

ชัยวัฒน์และพิชัย (2551) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเจาะดินสำหรับปลุกต้นไม้ขนาดเล็ก เพื่อลดต้นทุนและความเมื่อยล้าระหว่างขุดดิน โดยเครื่องเจาะดินจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการส่งกำลังไปยังเฟืองทด แล้วส่งต่อไปยังเพลาและหัวเจาะดินที่ติดอยู่ปลายเพลา เพื่อปรับความเร็วรอบได้ตามต้องการ จากผลการทดสอบ พบว่า เครื่องเจาะหลุมได้หลุมที่มีความกว้าง 10 เซนติเมตร และความลึก 15 เซนติเมตร ซึ่งใช้เวลาเร็วกว่าการขุดดินด้วยเสียม 26.5 วินาที สามารถเจาะหลุมและพรวนดินได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เครื่องเจาะดินสำหรับปลูกลงไม้ขนาดเล็ก

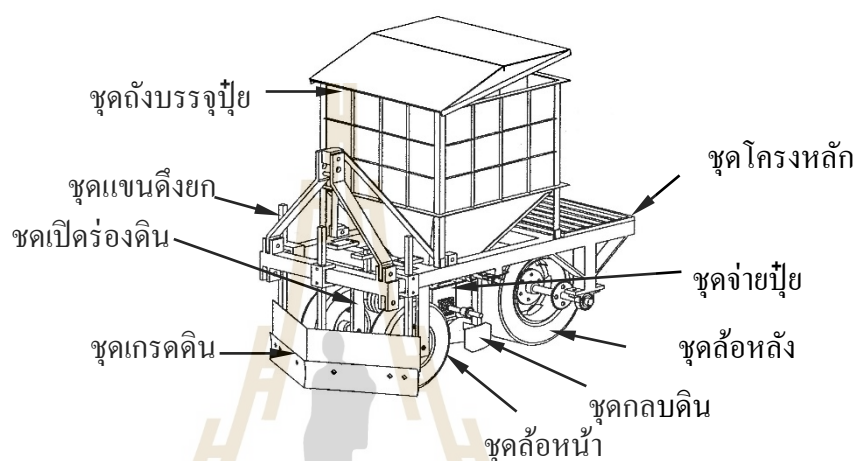
Adrian et al. (2017) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปลูกและใส่ปุ๋ยต้นไม้ด้วยมือ เครื่องมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกยาว โดยส่วนปลายที่หัวเจาะดินเป็นเหล็กเรียวแหลม ทำงานโดยออกแรงกดหัวเจาะดินให้กระแทกกับผิวดินและเกิดการหมุนกลิ้งของหัวเจาะดิน ใส่เมล็ดหรือปุ๋ยลงในปล่องที่อยู่ด้านในที่ถูกดันออกมาด้านนอก เมื่อลูกสูบที่อยู่บนหัวเจาะดินเกิดการคลายตัว ลูกสูบจะหมุนกลับในทิศตรงข้ามทำการปล่อยเมล็ดหรือปุ๋ย ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เครื่องปลูกและใส่ปุ๋ยต้นไม้ด้วยมือ

2.3.2 การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ย

มงคลและขงยุทธ์ (2547) พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยต้นยางพาราต้นแบบที่มีลักษณะใช้ต่อพ่วงสามจุดกับรถแทรกเตอร์ ใช้ผู้ปฏิบัติงานคนเดียว การโรยปุ๋ยใช้หลักการของลูกกลิ้งเขาระรอง ซึ่งสามารถจ่ายปุ๋ยได้ 36.5 กิโลกรัมต่อไร่ และมีความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ 13 ไร่ต่อชั่วโมง ที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องโรยปุ๋ยยางพาราต้นแบบ

ภาคเอกชนได้มีการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยยางพาราสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาด 40-105 แรงม้า โดยใช้หลักการพรวนดิน เปิดร่อง โรยปุ๋ย และกลบปุ๋ย เมื่อต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาด 60 แรงม้า ปฏิบัติงานในสภาพดินปกติ เครื่องใส่ปุ๋ยสามารถทำงานได้ประมาณ 1,700 ต้นต่อชั่วโมง ด้วยความเร็ว 4.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



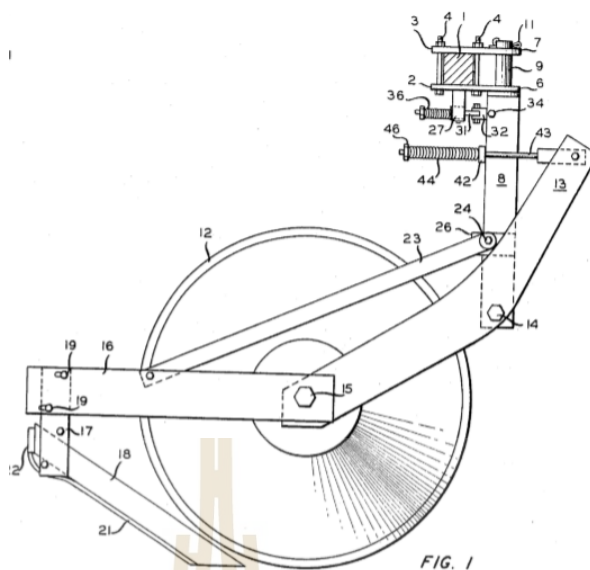
รูปที่ 2.11 เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับรถแทรกเตอร์ของภาคเอกชน

มงคล (2552) พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยยางพาราขึ้นใหม่ให้เหมาะกับเกษตรกรสวนยางรายย่อยซึ่งใช้รถไถเดินตามเป็นต้นกำลังลากจูงและใช้ผู้ปฏิบัติงานคนเดียว การโรยปุ๋ยใช้หลักการเปิดร่องและกลบร่องโดยงานไถขนาดเล็กสองงาน ซึ่งสามารถจ่ายปุ๋ยได้ 16.3 กิโลกรัมต่อระยะทางที่เครื่องเคลื่อนที่ได้ 100 เมตร และมีความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ 14.3 ไร่ต่อชั่วโมง ที่ความเร็วของรถไถเดินตาม 1.5 เมตรต่อวินาทีดังแสดงในรูปที่ 2.12



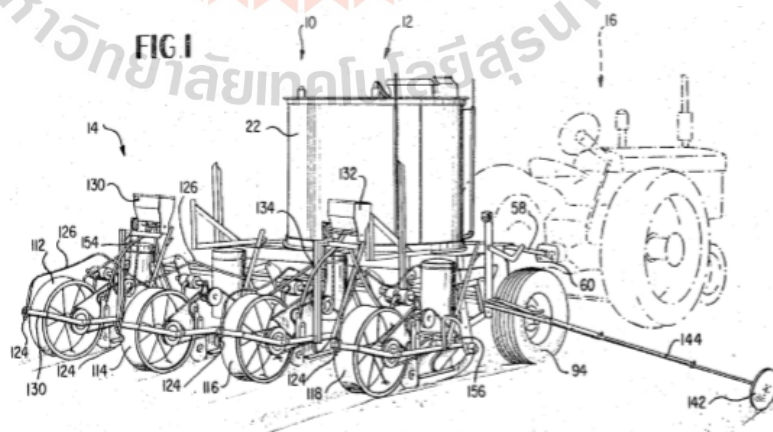
รูปที่ 2.12 เครื่องโรยปุ๋ยยางพารา

Moran (1967) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปล่อยปุ๋ย ประกอบด้วยมีดไถพรวนดินซึ่งอยู่ด้านหน้าสุดทำหน้าที่เปิดร่องดิน เชื่อมติดกับหลอดสำหรับลำเลียงปุ๋ยชนิดเหลวซึ่งอยู่ด้านหลังของมีดไถพรวนทำหน้าที่ปล่อยปุ๋ยลงร่องดินที่เปิดอยู่ และชุดบดดินสำหรับปิดร่องดินซึ่งยึดติดกับโครงและมีดไถพรวน ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องปล่อยปุ๋ย

Funk (1967) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องใส่ปุ๋ยแบบ 4 แกว ประกอบไปด้วยล้อที่มีแกน นิวมติกและล้อเลื่อนแบบโรเลตแบบหมุนได้บนเพลามีดโกพรวนดินซึ่งอยู่ด้านหน้าสุดทำหน้าที่เปิดร่องดิน ถังบรรจุปุ๋ยขนาดใหญ่เชื่อมกับท่อลำเลียงปุ๋ยที่อยู่ทางด้านหน้าล้อขับเคลื่อนเพื่อลำเลียงและปล่อยปุ๋ยลงสู่ร่องดินที่เปิด ตัวขับเคลื่อนที่อยู่ด้านหลังถังบรรจุน้ำที่บดดินเพื่อปิดร่องดินหลังใส่ปุ๋ยเสร็จแล้ว นอกจากนี้ยังมีงานที่ยื่นออกไปด้านข้างเพื่อเป็นตัวแบ่งแถวอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เครื่องใส่ปุ๋ยแบบ 4 แกว

Baker et al (1989) ได้พัฒนาเครื่องพ่นปุ๋ยในโตรเจน โดยพัฒนาระบบการกลั่น และการทดสอบสามารถฉีดพ่นปุ๋ยในแนวแถวกว้างประมาณ 10 cm. (4 in) ได้ ผิวดินมีระยะห่างระหว่างจุดต่อจุด 20 cm. (8 in) ใช้ล้อเลื่อนหนึ่งแถวต่อแถวเพาะปลูก โดยมีระยะห่างระหว่างล้อกับล้อเฉลี่ย 76 cm. (30 in) ข้อดีของเครื่องพ่นปุ๋ยมีความต้องการพลังงานต่ำ ลดเวลาในการทำงานและตำแหน่งสำหรับการให้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เครื่องพ่นปุ๋ยในโตรเจน

Gaylen and William (1994) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปล่อยปุ๋ยแอมโมเนีย โดยมีการเว้นระยะห่างระหว่างชุดใบมีด รวมถึงโครงยึดถังบรรจุซึ่งอยู่ด้านหน้าของโครงเครื่อง ด้านล่างของโครงเครื่องประกอบไปด้วยล้อเลื่อน และท่อลำเลียงสำหรับปล่อยปุ๋ยลงพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.16

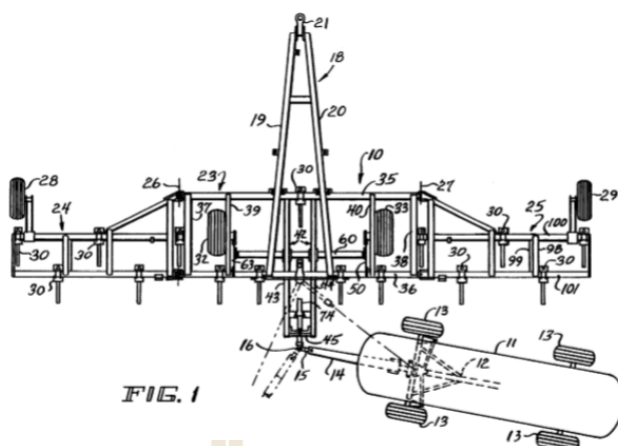
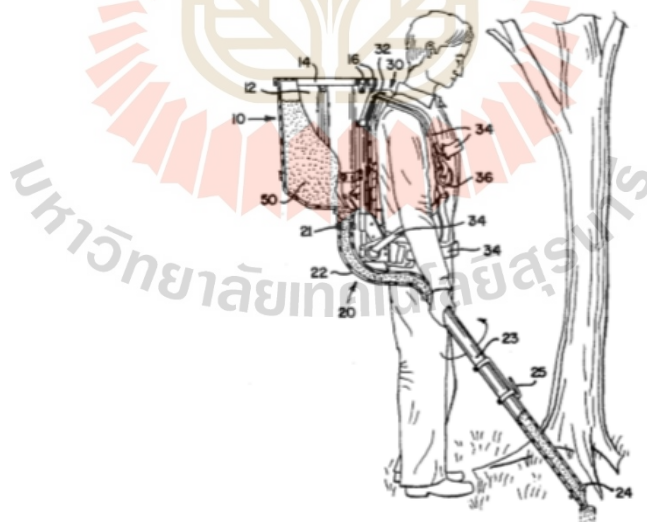


FIG. 1

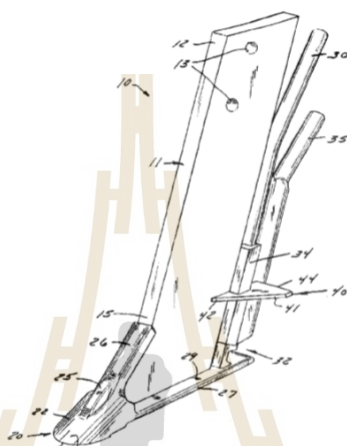
รูปที่ 2.16 เครื่องปล่อยปุ๋ยแอมโมเนีย

Donald (1996) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องใส่ปุ๋ยรากพืชแบบพกพา โดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วงและการวางตำแหน่งของท่อ เพื่อควบคุมการไหลของปุ๋ย ซึ่งประกอบด้วยถังใส่ปุ๋ยแบบพกพาที่อยู่ด้านหลังของผู้ใช้งาน และ T-stake ที่ติดอยู่ปลายท่อสำหรับถือตำแหน่งให้เมล็ดปุ๋ยได้ตกลงยังตำแหน่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.17



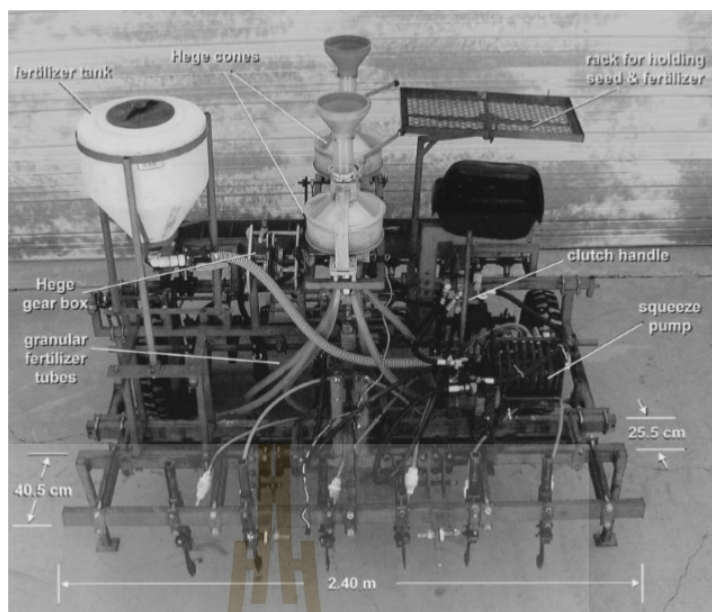
รูปที่ 2.17 เครื่องใส่ปุ๋ยรากพืชแบบพกพา

William (2002) ได้ออกแบบและสร้างผลพรวนสำหรับใส่ปุ๋ยชนิดเหลว โดย ไบโอมิดซึ่งเป็นชิ้นส่วนฐานเชื่อมต่อกับขอบผลไถเพื่อทำเป็นร่องดินเมื่อเคลื่อนที่ผ่านพื้นดิน ซึ่งผลไถถูกออกแบบให้มีลักษณะโค้งมนเพื่อให้ไถดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนด้านหลังของผลไถ จะมีหลอดลำเลียงสำหรับปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว เพื่อให้ปุ๋ยชนิดเหลวถูกปล่อยลงสู่ร่องดินที่เปิดอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



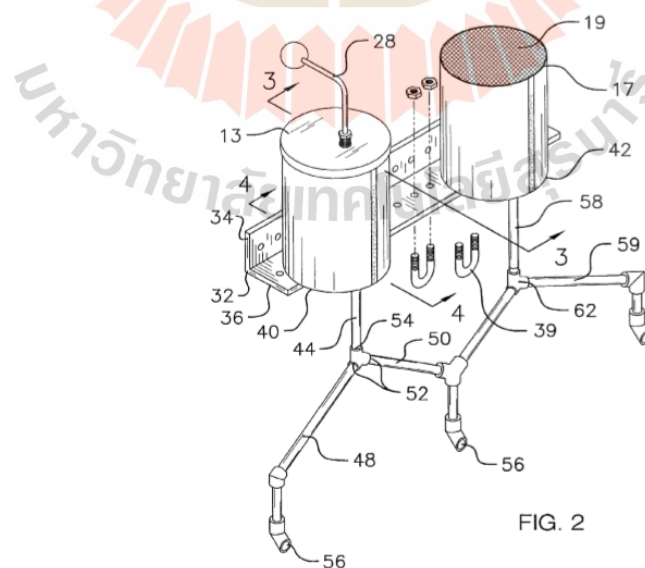
รูปที่ 2.18 ผลไถพรวนสำหรับใส่ปุ๋ยชนิดเหลว

Richard et al (2003) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเพาะเมล็ดและใส่ปุ๋ยชนิดเหลว ขนาดเล็ก ประกอบไปด้วยเครื่องมือสำหรับดึงชุดมิดเปิดร่องใส่ปุ๋ย บี้มสำหรับปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว ชั้นวางกรวยสำหรับใส่ปุ๋ยเม็ดหรือเมล็ดพืช ชุดเกียร์คลัทซ์ และชุดมิดไถพรวน โดยเครื่องเพาะเมล็ดที่บรรจุเมล็ดขนาด 794 kg ใช้กำลังรถแทรกเตอร์ขนาด 41 kWatt ใน 1h สามารถเพาะเมล็ดและใส่ปุ๋ย 60 แปลง (ยาว 7-10 m) ในสภาวะที่ไม่มีการไถพรวนพร้อมกับไบโอมิดที่ติดตั้งอยู่ที่แถบเครื่องมือ ด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 2.19



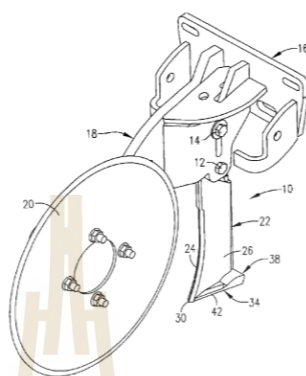
รูปที่ 2.19 เครื่องเพาะเมล็ดและให้ปุ๋ยชนิดเหลวขนาดเล็ก

James (2005) ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว โดยประกอบด้วยถังบรรจุปุ๋ยที่ยึดติดกับโครงยึด ด้านล่างของถังบรรจุปุ๋ยจะมีท่อลำเลียงปุ๋ยแบบสองทาง เพื่อแยกจำนวนท่อและตำแหน่งการปล่อยปุ๋ย ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 อุปกรณ์สำหรับปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว

Jerome (2005) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว เมื่อเคลื่อนที่ผ่านพื้นดินจนมีค้ำหน้าเปิดร่องดิน ส่วนด้านหลังขาตั้งตรงจะมีช่องลำเลียงปุ๋ยและปล่อยปุ๋ยออกตรงฐานของขาตั้งสองทาง เพื่อให้ปุ๋ยชนิดเหลวถูกปล่อยลงสู่ร่องดินที่เปิดอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



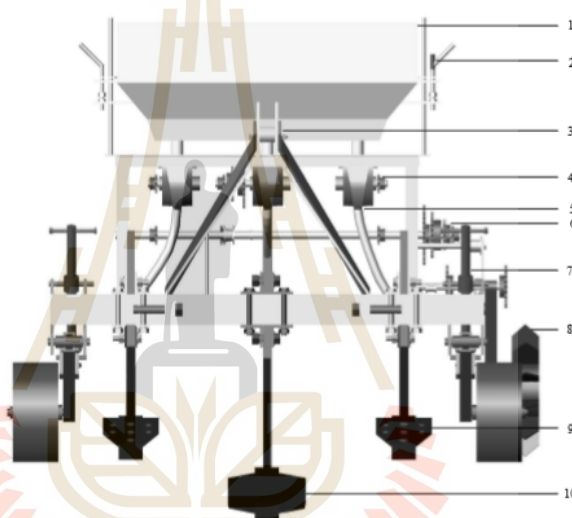
รูปที่ 2.21 เครื่องปล่อยปุ๋ยชนิดเหลว

Jin et al (2010) ได้ออกแบบการประมวลผลด้วยวิธีเกาส์เซียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปล่อยปุ๋ย โดยใช้วิธีเกาส์เซียนในการจำแนกอัตราการใส่ปุ๋ยแล้วประมวลผล จากนั้นเพิ่มประสิทธิภาพแบบ Meta model เพื่อปรับพารามิเตอร์และดัชนีที่ดีที่สุด แล้วนำสมการทำนายไปควบคุมการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยให้ปล่อยปุ๋ยได้สม่ำเสมอและมีความแม่นยำ จากการทดสอบในภาคสนาม พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากสมการทำนายโดยวิธีเกาส์เซียนกับสัมประสิทธิ์การปล่อยปุ๋ยมีความคลาดเคลื่อน 0.014-0.089 ดังแสดงในรูปที่ 2.22



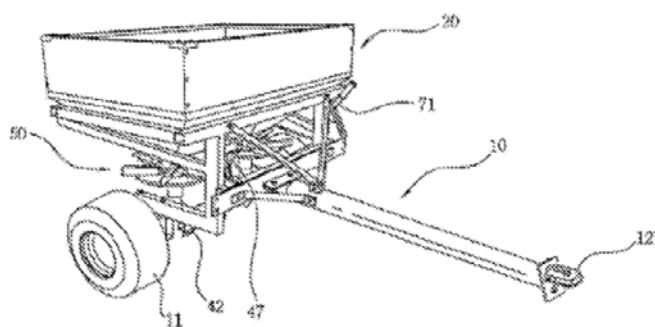
รูปที่ 2.22 เครื่องปล่อยปุ๋ยที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีเกาส์เซียน

Mandal and Thakur (2010) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องพ่นปุ๋ย โดยประกอบไปด้วย ถังบรรจุปุ๋ยขนาด 100 kg ชุดควบคุมการปล่อยปุ๋ยที่ติดตั้งด้านข้างของถังบรรจุปุ๋ย ชุดควบคุมความลึก ซึ่งเครื่องนี้ตั้งระดับการปล่อยปุ๋ยได้ถึงความลึกดิน 500 mm เหล็กแกนหลักและเหล็กปีกที่มีท่อลำเลียงปุ๋ยสามารถปรับได้สูงถึง 250 mm ซึ่งจะช่วยให้พ่นปุ๋ยได้ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกันตามลักษณะของดิน จากการทดสอบในแปลง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอมากกว่า 90% สำหรับอัตราการพ่นปุ๋ย 250, 500, 750 และ 1,000 kg/rai และตรวจสอบประสิทธิภาพการผลิตของแปลงย่อย พบว่า ผลผลิตเพิ่มขึ้น 16.2%, 16.4% และ 35.4% เมื่อเทียบกับการไถพรวนแบบดั้งเดิมด้วยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.23



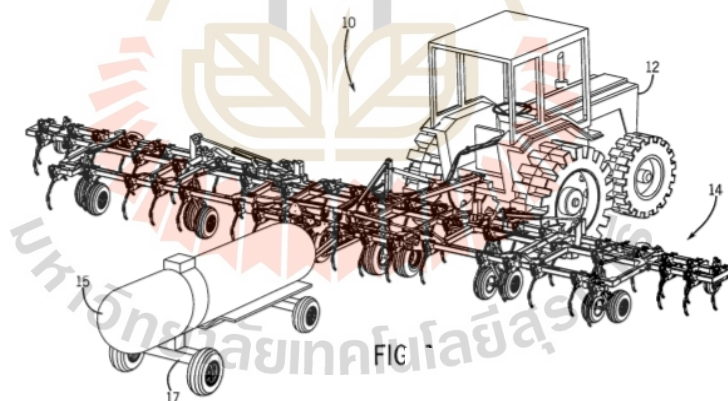
รูปที่ 2.23 เครื่องพ่นปุ๋ย

Kim and Do (2012) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องกระจายปุ๋ยแบบสองแถว ซึ่งลากจูงด้วยยานพาหนะ วัวหรือม้าได้ เนื่องจากด้านล่างของเครื่องประกอบด้วยล้อซ้ายและขวาสองล้อในการเคลื่อนที่ของตัวเครื่อง ส่วนด้านบนของเครื่องมีถังใส่ปุ๋ยสองถังติดกัน โดยปากปล่อยบรรจุปุ๋ยด้านล่างจะมีจานและใบพัดควบคุมปริมาณและการกระจายของปุ๋ยลงพื้นดิน ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดเกียร์คลัทช์ที่ยึดติดกับเพลาล้อซ้ายและขวา ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 เครื่องกระจายปุ๋ยแบบสองแถว

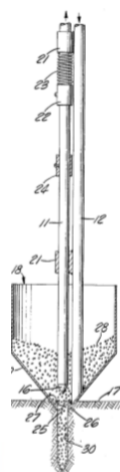
Dean et al (2014) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องพ่นปุ๋ยแบบพับและกางออก เหมาะสำหรับทำงานในพื้นที่กว้างหรือพื้นที่ขนาดใหญ่ มีโครงยึดและส่วนปีกคู่ติดกับปลายโครงยึดซึ่งสามารถพับและกางออกได้ ในตัวปีกแต่ละข้างจะประกอบด้วยล้อสำหรับขับเคลื่อน ใบมีดเพื่อเปิดร่องดินและท่อลำเลียงสำหรับปล่อยปุ๋ยลงในร่องดิน ส่วนด้านหลังของโครงจะมีถังใหญ่สำหรับบรรจุปุ๋ยชนิดเหลว-แก๊ส ซึ่งเครื่องนี้จะส่งกำลังด้วยระบบไฮดรอลิกเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 เครื่องพ่นปุ๋ยแบบพับและกางออก

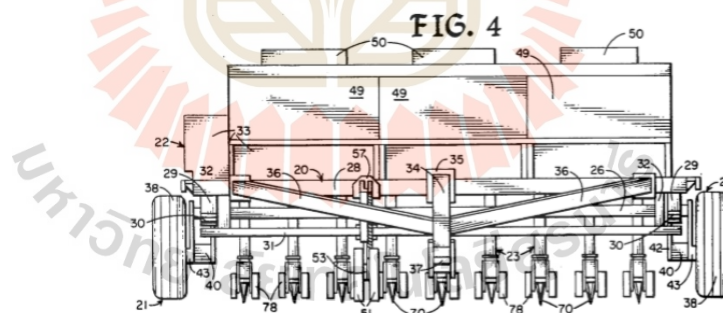
2.3.3 การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุม

K. Krarup (1970) ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับปล่อยปุ๋ยแบบเจาะหลุม ซึ่งติดตั้งถังที่ปลายด้านล่างสำหรับบรรจุปุ๋ยพร้อมกับแท่งเจาะขนาดเล็กสำหรับเจาะดินทำโพรง เมื่อแท่งเจาะหดรถกลับปุ๋ยก็จะตกลงในโพรงดินที่เจาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.26



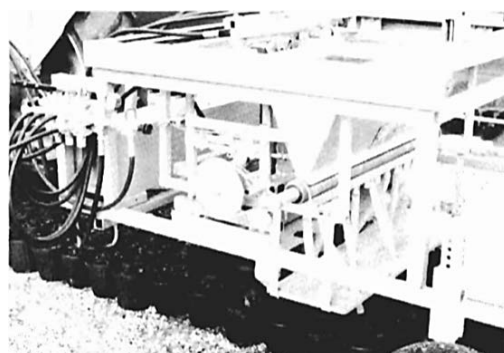
รูปที่ 2.26 อุปกรณ์สำหรับปล่อยปุ๋ยแบบเจาะหลุม

Anderson (1986) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเจาะหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย ซึ่งควบคุมด้วยระบบไฮดรอลิก ประกอบไปด้วยล้อที่อยู่ด้านล่างทำหน้าที่การเคลื่อนที่เครื่อง และหัวเจาะหลุมสำหรับเปิดช่องว่างในดินเพื่อรองรับปุ๋ยที่หล่นลงมาจากถังบรรจุ ส่วนโครงด้านบนประกอบด้วยกลไกควบคุมการทำงาน และถังสำหรับบรรจุปุ๋ย ดังแสดงในรูปที่ 2.27



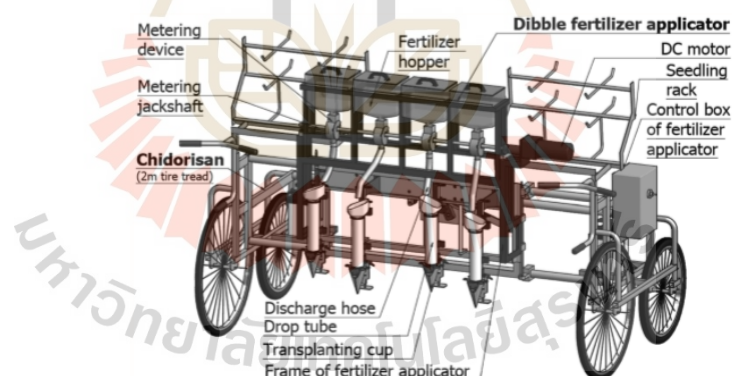
รูปที่ 2.27 เครื่องเจาะหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย

Parish et al (1988) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหยอดปุ๋ยแบบเจาะหลุมสำหรับต้นไม้นานาเล็ก ขับเคลื่อนโดยอาศัยรถแทรกเตอร์ โดยในการทำงาน 1 ครั้ง สามารถเจาะหลุมและหยอดปุ๋ยได้ 12 หลุม ด้วยการควบคุมของระบบไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 เครื่องหยอดปุ๋ยแบบเจาะหลุมสำหรับต้นไม้นขนาดเล็ก

Nang et al (2014) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปล่อยปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกผักกาดหอม ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยมอเตอร์ ประกอบไปด้วยถังบรรจุปุ๋ยและหัวเจาะหลุม 4 แถว ที่ติดตั้งอยู่ในรถเข็นสี่ล้อ และชุดควบคุมการปล่อยปุ๋ย เมื่อผู้ใช้กดปุ่มเริ่มการทำงาน ต้นผักกาดหอม จะถูกปล่อยพร้อมกับการเจาะหลุม จากนั้นปุ๋ยจะลงมายังถ้วยด้านล่างและลงไปยังหลุมที่เจาะ ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 เครื่องปล่อยปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกผักกาดหอม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 รถแทรกเตอร์เกษตร

รถแทรกเตอร์ชนิดขับเคลื่อนแบบ 4WD ขนาด 49 hp (category I) ยี่ห้อ Yanmar รุ่น EF-494T ถูกนำมาใช้เป็นตัวนำกำลังสำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องไถปุ๋ยทั้งในกระบะดินและแปลงเกษตร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดทางวิศวกรรมดังแสดงในตารางที่ 3.1



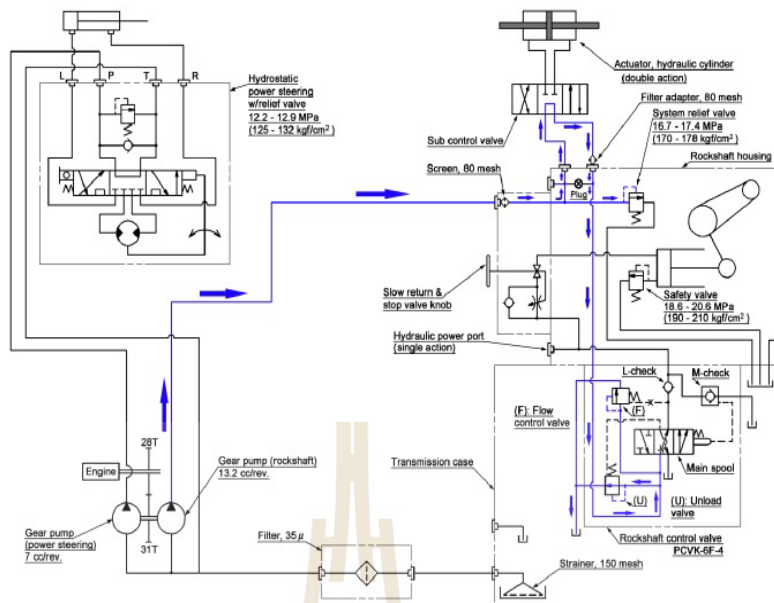
รูปที่ 3.1 รถแทรกเตอร์ชนิดขับเคลื่อนแบบ 4WD ขนาด 49 hp

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของรถแทรกเตอร์ ยี่ห้อ Yanmar รุ่น EF-494T

ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียด
เครื่องยนต์	ดีเซล, ระบายความร้อนด้วยน้ำ
แรงม้าสูงสุด (hp) ที่ 2,800 rpm	49
ชนิดเกียร์	Collar shift
จำนวนเกียร์	9 เดินหน้า 9 ถอยหลัง
ขนาดยาง	หน้า 8-16 หลัง 13.6-26
พวงมาลัย	Hydrostatic
ขนาดเพลลาอำนาจกำลัง (in)	SAE 1-3/8" (6 ร่องฟัน)
ความเร็วเพลลาอำนาจกำลัง (rpm)	568/769
อัตราการไหลปั๊มไฮดรอลิก (L/min)	32
ระบบคุมแขนยกอุปกรณ์ 3 จุด	แบบควบคุมตำแหน่ง มาตรฐาน SAE เบอร์ 1
น้ำหนักเฉพาะตัวรถแทรกเตอร์ (kg)	1,540
ยาว x กว้าง x ความยาวฐานล้อ x สูง (mm)	3,230 x 1,605 x 1,830 x 2,355
ความสูงใต้ท้องรถจากพื้น (mm)	375

ระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ยี่ห้อ Yanmar รุ่น EF-494T ถูกออกแบบมาใช้สำหรับระบบต่อพ่วงสามจุด ระบบบังคับเลี้ยว และอุปกรณ์ภายนอกของรถได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ปั๊มไฮดรอลิกเป็นแบบฟันเฟือง (gear pump) สามารถสร้างแรงดันได้ 16.7–17.4 MPa (170–178 kg/cm³) และอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก 32.2 L/min ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,700 rpm

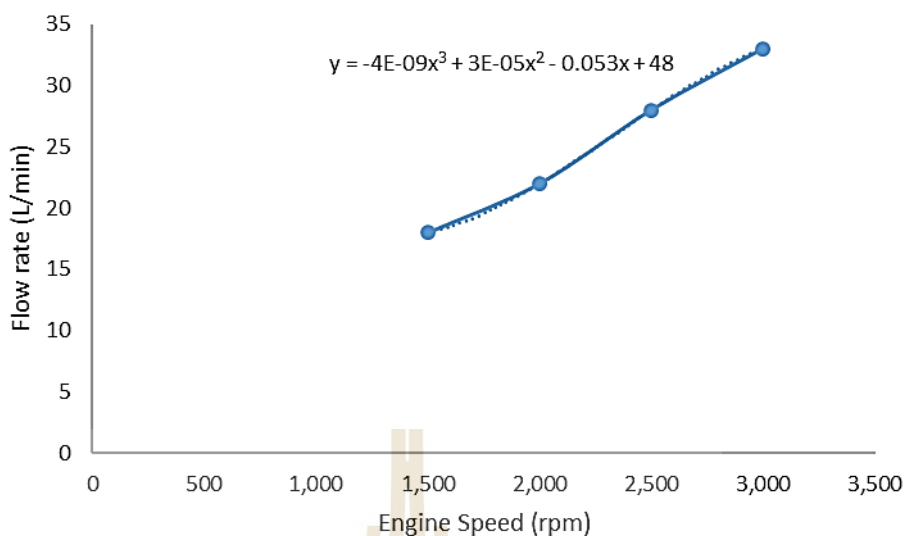
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการวัดสมรรถนะของระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์รุ่นนี้ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ในกรณีไม่มีโหลด เมื่อกำหนดความเร็วรอบเครื่องยนต์ไว้ที่ 1,500 rpm ระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์สามารถสร้างอัตราการไหลของน้ำมันได้ 18 L/min



รูปที่ 3.2 ระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ Yanmar EF-494T

ตารางที่ 3.2 สมรรถนะของระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ Yanmar EF-494T

Engine speed (rpm)	Flow rate (L/min)
1,500	18
2,000	22
2,500	28
3,000	33



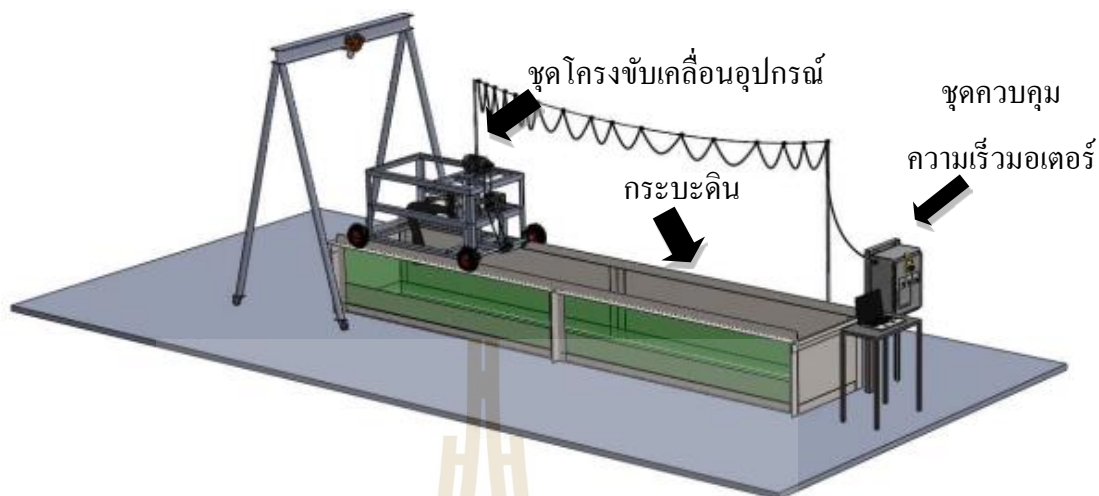
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก

3.1.2 กระบะดิน

กระบะดินเป็นอุปกรณ์ที่บรรจุดินสำหรับการทดสอบเครื่องจักรกลเกษตรและอุปกรณ์ทางการเกษตร กระบะดินในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา มีขนาดขนาดกว้าง 1.3 m ยาว 6.0 m และสูง 0.6 m รูปที่ 3.4-3.5 แสดงลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญของกระบะดินสำหรับการทดสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงทางการเกษตร ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ กระบะดิน (soil bin) และชุด โครงขยับเคลื่อนอุปกรณ์ (equipment carriage)

ส่วนที่ 1 กระบะดินจะเป็นส่วนที่บรรจุดินซึ่งใช้ในการทดสอบกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือประเภทต่างๆ ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น ความชื้น ความแข็ง ชนิดของดิน ฯลฯ ซึ่งมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องมือได้อย่างถูกต้อง ส่วนบนของกระบะดินจะมีลักษณะเป็นรางสำหรับให้ล้อของชุด โครงขยับเคลื่อนอุปกรณ์วิ่งไปตามทิศทางที่กำหนด

ส่วนที่ 2 ชุด โครงขยับเคลื่อนอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการจุลลากอุปกรณ์ให้เคลื่อนที่คล้ายกับอุปกรณ์กำลังปฏิบัติงานในแปลงทดสอบจริง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลัง ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ บนชุด โครงขยับจะมีจุดต่อพ่วงสำหรับการต่อพ่วงเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบเช่นเดียวกับการต่อพ่วงจริงกับจุดต่อพ่วงของรถแทรกเตอร์หรือรถไถเดินตาม



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของชุดทดลองกระบะดินสำหรับการทดสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงทางการเกษตร



รูปที่ 3.5 กระบะดิน

3.1.3 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์สำคัญในการขับเคลื่อนระบบไฮดรอลิก ชุดต้นกำลังประกอบด้วย ปั๊มไฮดรอลิก มอเตอร์ไฟฟ้า ถังน้ำมัน วาล์วควบคุมทิศทาง วาล์วควบคุมแรงดัน

เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกนี้สามารถสร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกได้สูงสุดเท่ากับ 10 L/min



รูปที่ 3.6 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

3.1.4 PLC

PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3S-30MT/DS ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุม การเจาะหลุมและปล่อยปุ๋ยลงหลุม โดยมีรายละเอียดทางวิศวกรรมดังแสดงในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.7 PLC สำหรับเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของ PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3S-30MT/DS

ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียด
แรงดันไฟฟ้า (V)	24, DC
อัตราการใช้พลังงาน (W)	8.5
กระแสไฟฟ้าสูงสุด (A)	20
ช่วงอุณหภูมิในการทำงาน (°C)	0-55
ช่วงความชื้นในการทำงาน (%)	5-95

3.1.5 ฟร็อกซิมิตีเซนเซอร์

ฟร็อกซิมิตีเซนเซอร์แบบเหนี่ยวยี่ห้อ Omron รุ่น E2E2-X10MC1 และรุ่น E2E-X5ME1 นำถูกนำมาใช้เพื่อวัดตำแหน่งของลูกเบี้ยว และควบคุมการเจาะหลุมของเครื่องใส่ปุ๋ย ดังแสดงในรูปที่ 3.8 สัญญาณจากเซนเซอร์จะถูกตรวจจับด้วย PLC



รูปที่ 3.8 ฟร็อกซิมิตีเซนเซอร์ยี่ห้อ Omron (ก) รุ่น E2E2-X10MC1 (ข) รุ่น E2E-

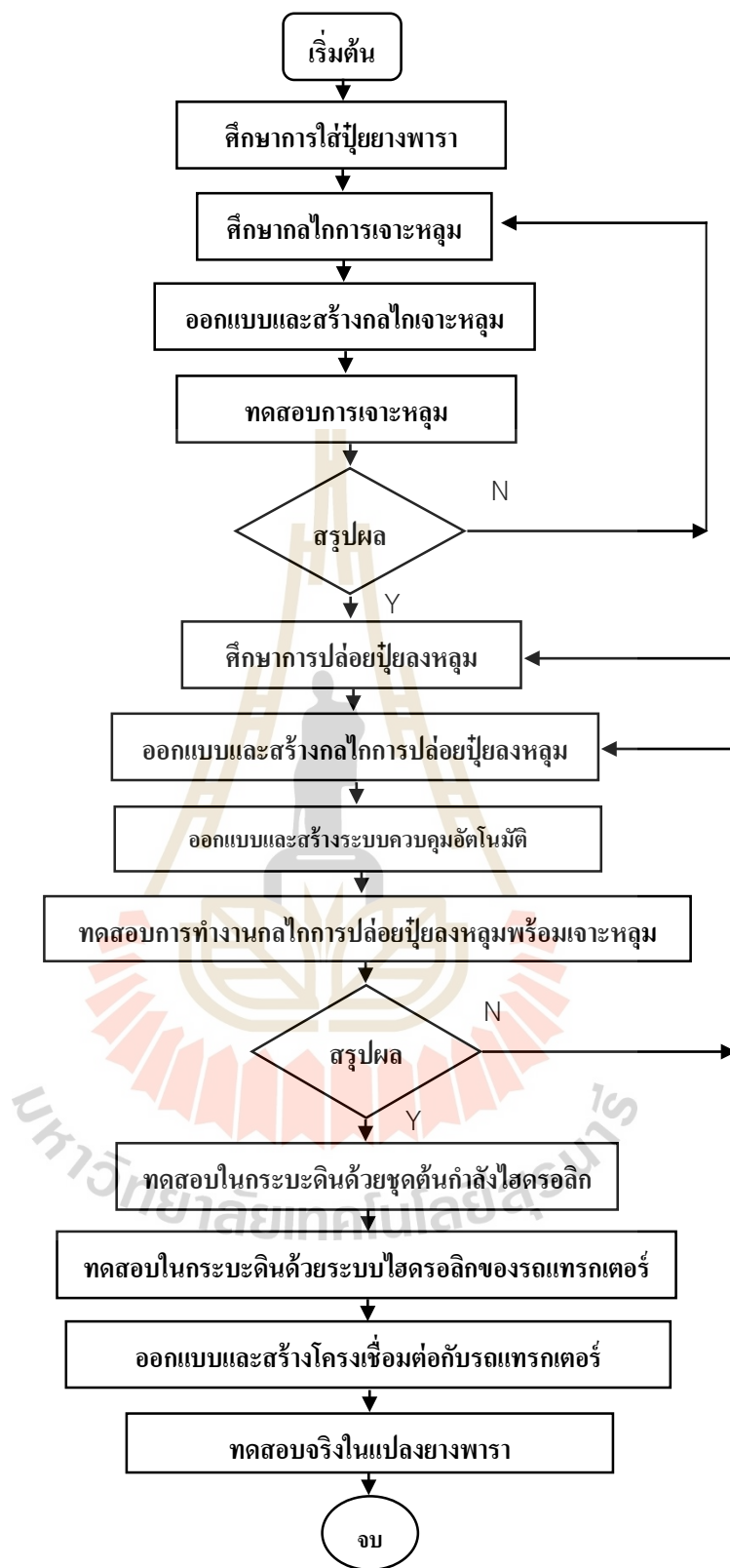
3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา

จากการศึกษาข้อมูลของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ ทำให้สามารถกำหนดแนวคิดดังแสดงในรูปที่ 3.9 ในการออกแบบได้ดังนี้ เครื่องใส่ปุ๋ยมีส่วนประกอบ 5 ส่วน คือ ชุดโครงหลัก ชุดโครงรอง ชุดเจาะหลุม ชุดหยอดปุ๋ย และชุดควบคุมอัตโนมัติ โดยชุดโครงหลักจะ

ทำหน้าที่เชื่อมยึดอุปกรณ์ทั้งหมดของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ ชุดโครงรองจะเชื่อมต่อกับชุดโครงหลัก และจะทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ และทำหน้าที่ยึดชุดเจาะหลุม ชุดหยอดปุ๋ยและถังปุ๋ยให้อยู่ในแนวระดับตลอดเวลาขณะทำงาน ชุดเจาะหลุมทำหน้าที่ เจาะหลุมสำหรับการใส่ปุ๋ยตามจำนวนที่ต้องการ ชุดหยอดปุ๋ยจะทำหน้าที่ กำหนดปริมาณปุ๋ยใน การปล่อยลงหลุมแต่ละครั้ง โดยจะปล่อยปุ๋ยให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ และระยะการเจาะหลุม และชุดควบคุมอัตโนมัติเป็นตัวควบคุมจังหวะในการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

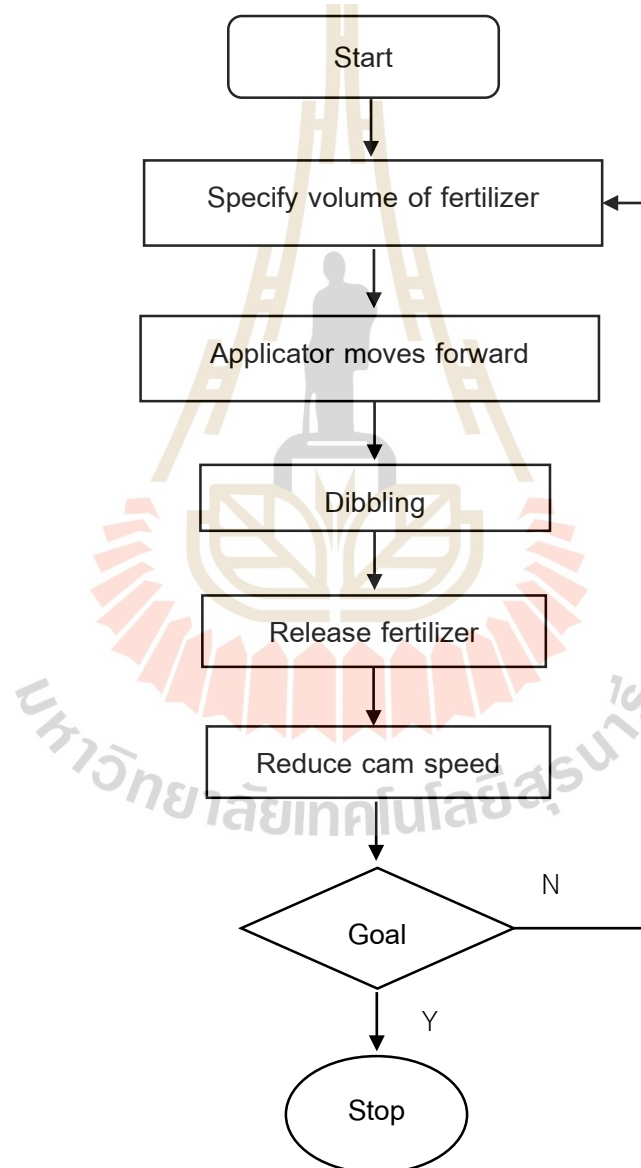




รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ

3.2.2 การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในกระบะดิน

การทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย เริ่มจากการกำหนดปริมาณปุ๋ยที่จะใส่ในแต่ละหลุม จากนั้นเครื่องใส่ปุ๋ยจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกับเจาะหลุมและปล่อยปุ๋ยลงในหลุม ต่อมา ลูกเบี้ยวถูกลดความเร็วลง ตรวจสอบเป้าหมายของการทำงาน หากยังไม่ถึงเป้าหมายจะเริ่มการเคลื่อนที่เพื่อเจาะหลุมใหม่อีกครั้ง จนกว่าจะได้ถึงเป้าหมายที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 Procedure of the dibbling fertilizer applicator

(ก) การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยกระทำในกระบะดินขนาดกว้าง 1.3 m ยาว 6.0 m และสูง 0.6 m โดยการเจาะหลุมและใส่ปุ๋ยจำนวน 5 หลุม ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 ถูกลำมาใช้ในการทดสอบ โดยมีรูปร่างเป็นทรงกลม ขนาดเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 mm และความหนาแน่นรวม (bulk density) เท่ากับ 829.3 kg/m^3 และความหนาแน่นเนื้อ (apparent density) เท่ากับ $1,869.7 \text{ kg/m}^3$ มุมกองพื้นประมาณ 18° ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งมีลักษณะของเนื้อดินประกอบด้วย sand 74%, silt 12% และ clay 14% ความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ 0.1 m/s และความเร็วรอบมอเตอร์ไฮดรอลิกเท่ากับ 128 rpm

(ข) การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอลิกของรถ

แทรกเตอร์เกษตร

การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยถูกกระทำในกระบะดินอีกครั้ง โดยอาศัยกำลังจากระบบไฮดรอลิก ของรถแทรกเตอร์ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง เมื่อกำหนดตำแหน่งเกียร์ของรถแทรกเตอร์ที่ 1L และความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,000 rpm จะทำให้รถแทรกเตอร์มีความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 0.16 m/s ดังนั้นความเร็วในการทดสอบจึงถูกกำหนดไว้เท่ากับความเร็วนี้ นอกจากนี้เครื่องใส่ปุ๋ยยังถูกปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อความเหมาะสมและความสะดวกในการปฏิบัติงานจริง

3.2.3 การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงเกษตร

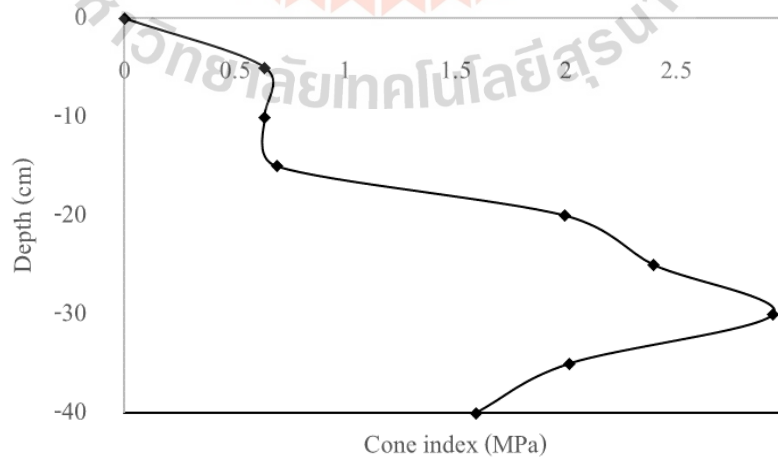
การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติกระทำในแปลงเกษตรของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งดินมีสมบัติดังนี้ sand 79.84% silt 14.00% clay 2.16 % ประเภทเนื้อดินเป็นแบบ loamy sand มีดัชนีความแข็งดินดังแสดงในรูปที่ 3.12 การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยถูกกระทำ 2 แบบ คือ การทดสอบเพื่อหาขนาดหลุมและคุณภาพของการหยอดปุ๋ย และการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย ในการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ย ตำแหน่งเกียร์ของรถแทรกเตอร์ถูกกำหนดที่ 1L และความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,000 rpm

การทดสอบเพื่อหาขนาดหลุมและคุณภาพของการหยอดปุ๋ยของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงเกษตร ทำโดยกำหนดให้รถแทรกเตอร์ขุดลากเครื่องใส่ปุ๋ยเป็นระยะทาง 10 m จากนั้นสู่วัดขนาดหลุมและปริมาณปุ๋ยที่อยู่นอกหลุมจำนวน 5 หลุม การทดสอบถูกกระทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ ดังแสดงรูปที่ 3.13-3.14

การทดสอบเพื่อหาสมรรถนะในการทำงานของเครื่องไถพรวนแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงเกษตรทำโดยการจำลองการไถพรวนต้นยางพาราจำนวน 3 แถว แถวละ 6 ต้น โดยมีระยะห่างระหว่างแถวและระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 6 m และ 3 m ตามลำดับ เมื่อกำหนดความต้องการปุ๋ยของต้นยางพาราที่เปิดกรีดต่อต้นแล้วจำนวน 500 g ดังนั้นเครื่องไถพรวนต้องเจาะหลุมจำนวน 76 หลุม รูปแบบการทำงานของเครื่องไถพรวนถึงถูกออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.15-3.17



รูปที่ 3.11 สภาพแปลงทดสอบ



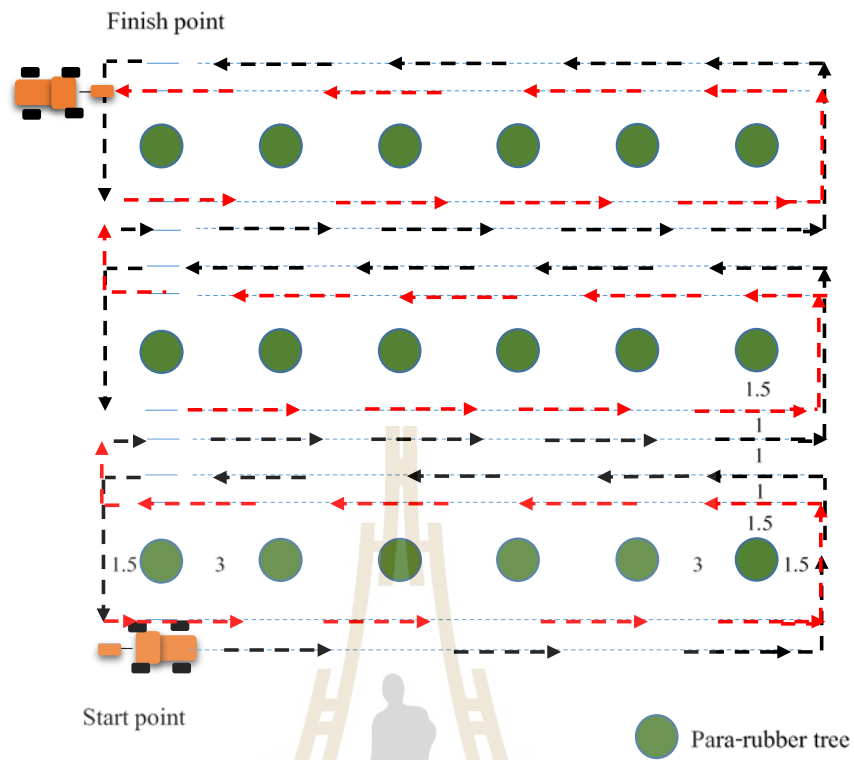
รูปที่ 3.12 ดัชนีความแข็งดินในแปลงทดสอบ



รูปที่ 3.13 การติดตั้งเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมกับรถแทรกเตอร์



รูปที่ 3.14 การเตรียมอุปกรณ์และแปลงทดสอบ



รูปที่ 3.15 รูปแบบการใส่ปุ๋ยในแปลงทดสอบ



รูปที่ 3.16 การเตรียมแปลงทดสอบสำหรับการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย

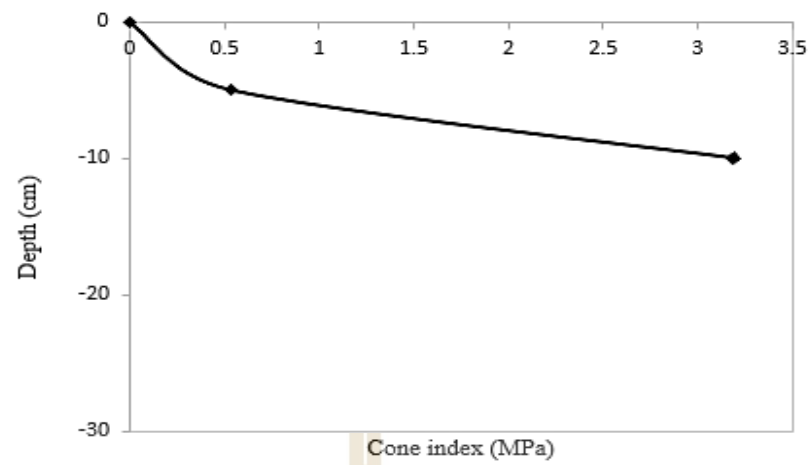


รูปที่ 3.17 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องไถปุ๋ยในแปลงทดสอบ

การทดสอบเพื่อหาขนาดหลุมและคุณภาพของการหยอดปุ๋ยของเครื่องไถปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติกระทำอีกครั้งในแปลงยางพาราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังแสดงในรูปที่ 3.18. เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย (sandy loam) โดยมีดัชนีความแข็งของดินที่ระดับความลึก 10 cm เท่ากับ 3.18 MPa ดังแสดงในรูปที่ 3.19 และมีความชื้น 8 % (wb) โดยกำหนดให้รถแทรกเตอร์นำรถไถปุ๋ยเป็นระยะทาง 10 m จากนั้นสุ่มวัดขนาดหลุมและปริมาณปุ๋ยที่อยู่นอกหลุมจำนวน 5 หลุม การทดสอบถูกกระทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ ดังแสดงรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.18 สภาพแปลงยางพาราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.19 คัดชี้ความแข็งดินในแปลงยางพารา



รูปที่ 3.20 การทดสอบในแปลงยางพาราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.4 ค่าชี้และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ค่าชี้และการวิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับ
ยางพารา มีดังนี้

ก) ความหนาแน่นรวม (bulk density)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)
 m คือ มวลรวมของวัตถุ (kg)
 V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (m^3)

ข) มุมกองของวัสดุ (angle of repose)

$$\tan^{-1} \phi = \frac{H}{(0.5D)}$$

เมื่อ ϕ คือ มุมกองของวัสดุขณะอยู่นิ่ง (static angle of repose)
 H คือ ความสูงของกองวัสดุ (cm)
 D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของฐาน (cm)

ค) ความชื้น (moisture content)

$$\text{ความชื้น} \quad MC_w = \frac{M_{s1} - M_{s2}}{M_{s1}} \times 100$$

เมื่อ MC_w คือ ความชื้นของดินเปียก (%(wb))
 M_{s1} คือ มวลของดินก่อนอบแห้ง (g)
 M_{s2} คือ มวลของดินหลังอบแห้ง (g)

- ง) ประสิทธิภาพการเจาะหลุมของหัวเจาะซึ่งประกอบด้วย
 ง.1) ประสิทธิภาพทางกว้าง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพทางกว้าง} = \frac{W_m}{W_t} \times 100$$

เมื่อ ประสิทธิภาพทางกว้าง (%)

W_m คือ ความกว้างของหลุมจริง (mm)

W_t คือ ความกว้างของหลุมทางทฤษฎี (mm)

- ง.2) ประสิทธิภาพทางยาว สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพทางยาว} = \frac{L_m}{L_t} \times 100$$

เมื่อ ประสิทธิภาพทางยาว (%)

L_m คือ ความยาวของหลุมจริง (mm)

L_t คือ ความยาวของหลุมทางทฤษฎี (mm)

- จ) ประสิทธิภาพรวมการเจาะหลุมของหัวเจาะ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ
 ประสิทธิภาพรวม = ประสิทธิภาพทางกว้าง \times ประสิทธิภาพทางยาว \times สภาพของหลุม

- ฉ) คุณภาพของการหยอดปุ๋ย

$$\text{คุณภาพของการหยอดปุ๋ย} = \frac{M_{f1} - M_{f2}}{M_{f1}} \times 100$$

เมื่อ คุณภาพการหยอดปุ๋ย (%)

M_{f1} คือ ปริมาณปุ๋ยทางทฤษฎี (g)

M_{f2} คือ ปริมาณปุ๋ยจริง (g)

ข) ความสามารถในการทำงานประสิทธิผล (effective area capacity)

$$C_a = \frac{A}{T_t}$$

เมื่อ C_a คือ ความสามารถในการทำงานจริง (rai/h)
 A คือ พื้นที่การทำงาน (rai)
 T_t คือ เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด (h)

ช) ประสิทธิภาพในการทำงาน (field efficiency)

$$E_f = \frac{T_e}{T_t} \times 100$$

เมื่อ E_f คือ ประสิทธิภาพการทำงาน (%)
 T_e คือ เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง (h)

ฅ) การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel consumption)

$$\text{การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง} = \frac{M_{fuel}}{T_t}$$

เมื่อ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (L/h)
 M_{fuel} คือ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด (L)

ญ) ความต้องการแรงจูงลาก (draft requirement)

$$\text{ความต้องการแรงจูงลาก} = D_l - D_{nl}$$

- เมื่อ ความต้องการแรงจุดลาก (N)
 D_l คือ แรงจุดลากขณะมีภาระ (N)
 D_{nl} คือ แรงจุดลากขณะไม่มีภาระ (N)

ฎ) การลื่นไถล (slip)

$$\text{การลื่นไถล} = \frac{S_{nl} - S_l}{S_{nl}}$$

- เมื่อ การลื่นไถล (%)
 S_{nl} คือ ระยะเคลื่อนที่เมื่อไม่มีภาระ (m)
 S_l คือ ระยะเคลื่อนที่เมื่อมีภาระ (m)

ฎ) การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยชุดต้นกำลังไฮดรอลิกถูกออกแบบเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ completely randomized design (CRD) โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อศึกษาผลของความขึ้นต่อปริมาตรหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย

ส่วนการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์เกษตรถูกวางแผนเป็นแบบแฟคตอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized factorial design) โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way ANOVA) เพื่อศึกษาผลของความขึ้นดินและระยะห่างระหว่างหลุมต่อปริมาตรหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยถูกเปรียบเทียบโดยใช้วิธี turkey's honestly significant different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม minitab® 17

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ผลการออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา

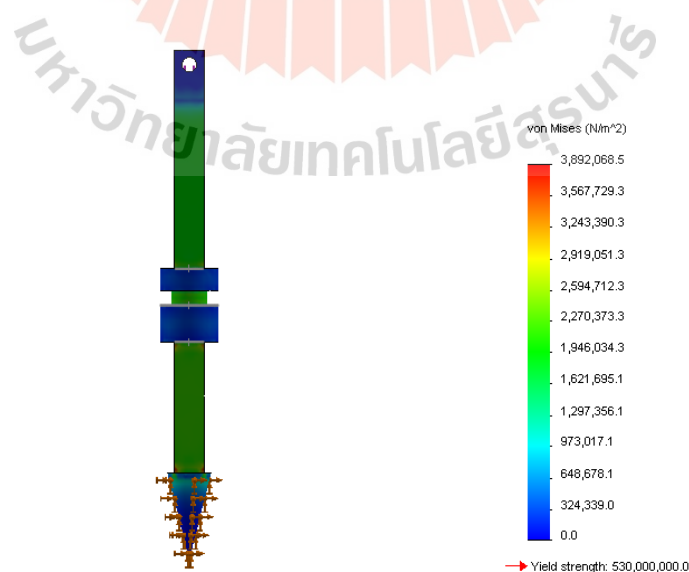
4.1.1 ผลการออกแบบชุดเจาะหลุม

การพัฒนาชุดเจาะหลุมของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพาราถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

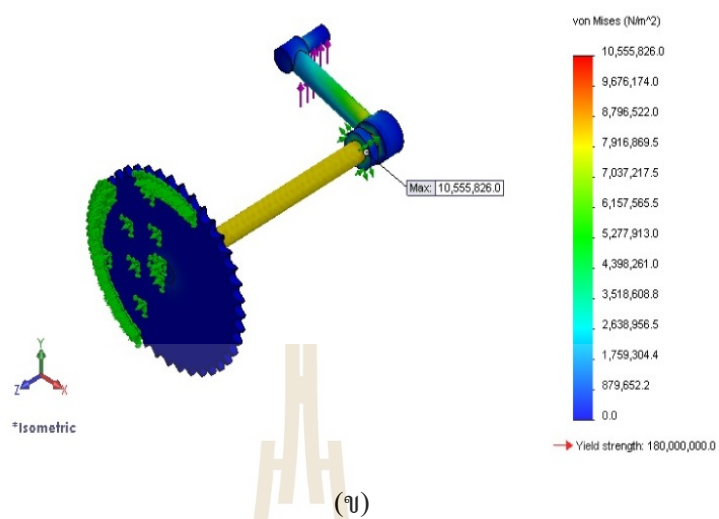
(ก) ผลการออกแบบชุดเจาะหลุมด้วยกลไกเจ็ทน้ำและกลไกลูกสูบ-ข้อเหวี่ยง

ชุดเจาะหลุมถูกออกแบบโดยใช้กลไกเจ็ทน้ำเป็นกลไกกำหนดจังหวะในการเจาะหลุม และกลไกลูกสูบ-ข้อเหวี่ยงเป็นชุดเจาะหลุมโดยตัวเลื่อนสไลด์ถูกออกแบบให้เป็นหัวเจาะ

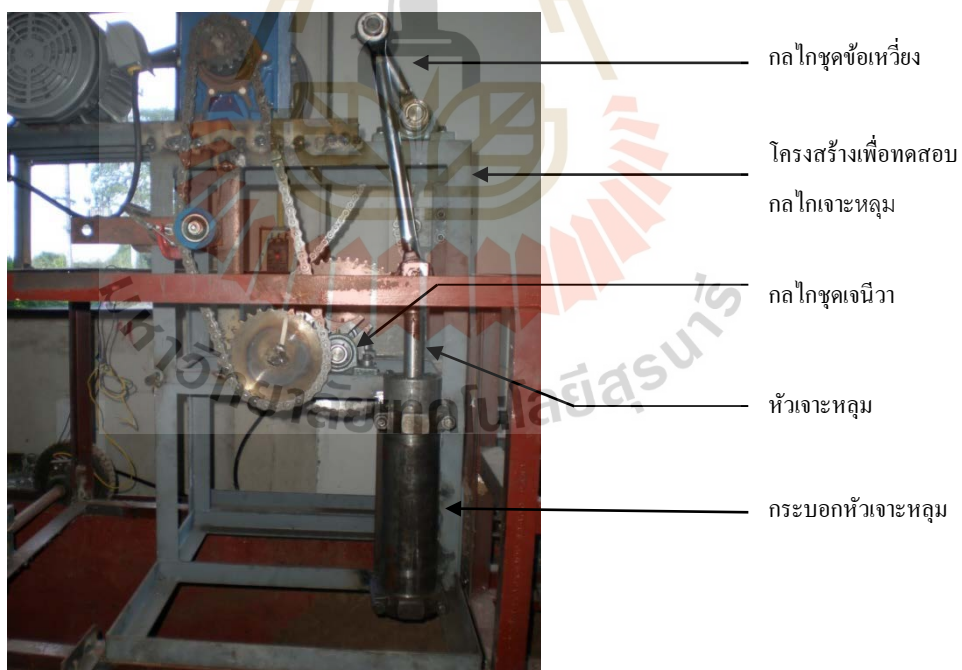
เมื่อกำหนดให้ดัชนีความแข็งของดินในแปลงเกษตรมีค่าประมาณ 1.8 MPa สามารถคำนวณหาค่าน้ำหนักของหัวเจาะได้เท่ากับ 6 kg จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Solid works พบว่า ความเค้นสูงสุดที่กระทำที่ หัวเจาะและข้อเหวี่ยงมีค่าเท่ากับ 3.9 MPa และ 10.6 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



(ก)



รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงของชิ้นส่วนกลไกชุดเจาะหลุม (ก) หัวเจาะ (ข) ข้อเหวี่ยง



รูปที่ 4.2 ชุดเจาะหลุมแบบกลไกเจ็วและกลไกข้อเหวี่ยง

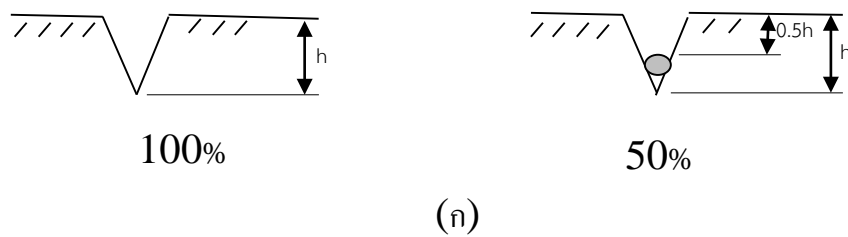
การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการเจาะหลุมกระทำในกระบะดิน ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งมีลักษณะของเนื้อดินประกอบด้วย sand 74%, silt 12% และ clay 14% โดยการกำหนดความชื้นของดินเฉลี่ยตั้งแต่ระดับผิวดินถึงระดับความลึก 15 cm เท่ากับ 9, 12, 17 และ 25%(wb) และความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ คือ 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18 และ 0.2 m/s ในการทดสอบจะใช้มอเตอร์ขนาด 5 hp เป็นต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนกลไกเจาะหลุม และมอเตอร์ขนาด 3 hp เป็นต้นกำลังสำหรับการลากจูงที่ความเร็วต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ความเร็วรอบของกลไกเจนีวาเท่ากับ 80 rpm เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมในการเจาะหลุม รูปที่ 4.4 แสดงการวัดขนาดหลุมและการประเมินสภาพหลุม

ผลการทดสอบพบว่า เมื่อความชื้นของดินมีค่ามากขึ้น ประสิทธิภาพรวมในการเจาะหลุม มีแนวโน้มลดลง โดยความชื้นของดินที่เหมาะสมสำหรับการเจาะหลุมคือ 12%(wb) เพราะค่าประสิทธิภาพรวมในการเจาะหลุมสูงในทุก ๆ ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ ส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมในการเจาะหลุมคือ 0.18 m/s เพราะมีค่าประสิทธิภาพรวมในการเจาะหลุมมากกว่า 90% ในทุก ๆ ระดับความชื้น

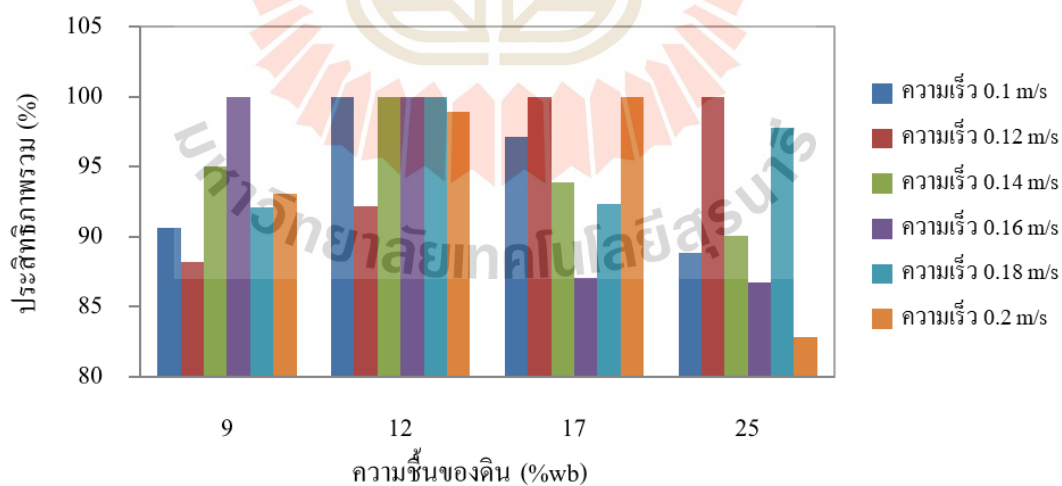
เนื่องจากชุดเจาะหลุมนี้มีโครงสร้างขนาดใหญ่ทำให้เกิดความยุ่งยากในการสร้างชิ้นส่วน และการควบคุมแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้อาจจะส่งผลให้ต้นทุนในการสร้างเครื่องมีค่าสูง จึงไม่เหมาะที่จะแนะนำให้ผู้ประกอบการนำไปพัฒนาต่อ



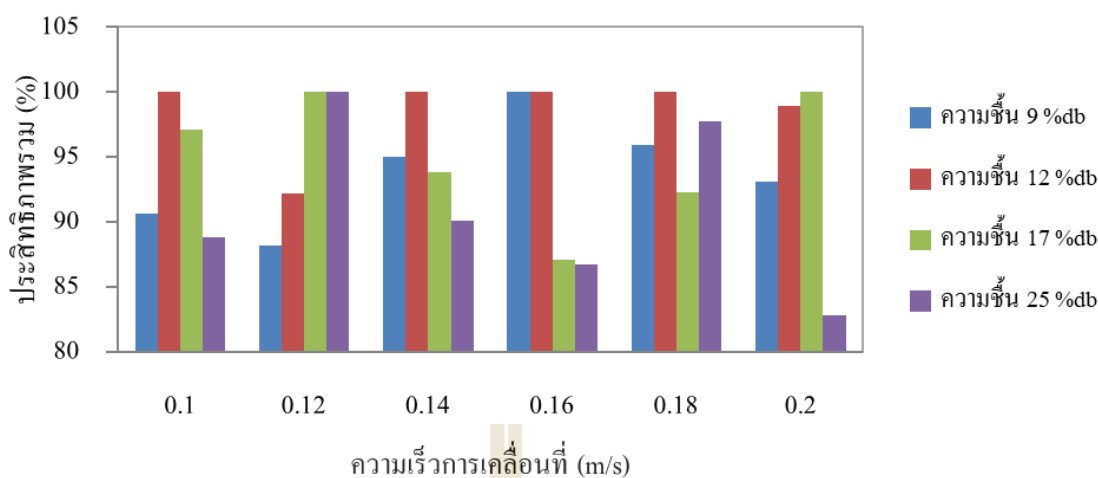
รูปที่ 4.3 กระบะดินสำหรับการทดสอบชุดเจาะหลุม



รูปที่ 4.4 (ก) การจำลองสภาพหลุม (ข) การวัดขนาดหลุม



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมกับความชื้นของดินทุกระดับความเร็ว

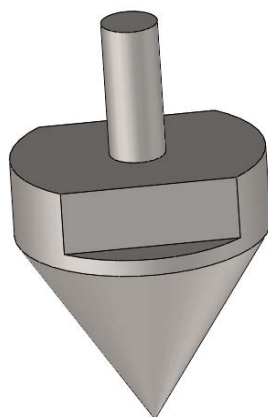


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมกับความเร็วการเคลื่อนที่ที่ทุกระดับความชื้น

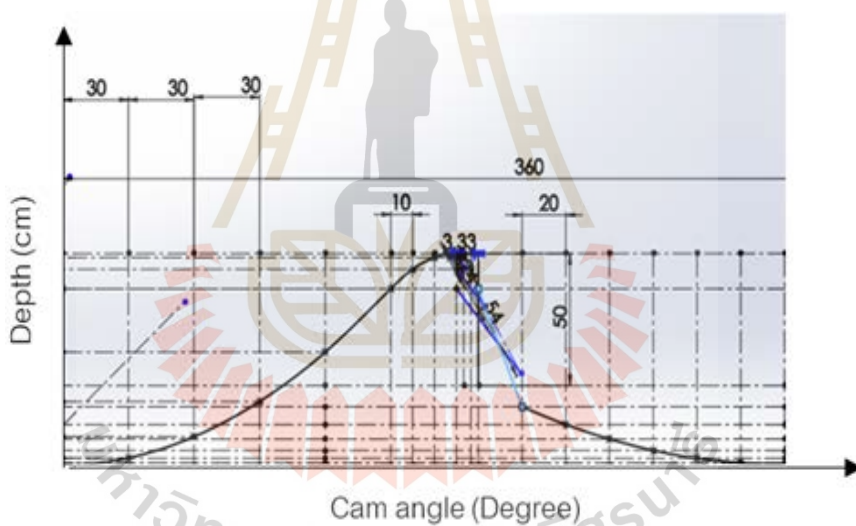
(ข) ผลการออกแบบชุดเจาะหลุมด้วยกลไกลูกเบี้ยว

ชุดเจาะหลุมจะประกอบไปด้วย ลูกเบี้ยว หัวเจาะ สปริงขดรับแรงกด และชุดนำร่องหัวเจาะ ระบบถูกออกแบบโดยอาศัยการทำงานของกลไกลูกเบี้ยวซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฮดรอลิก หัวเจาะมีลักษณะเป็นเหล็กปลายแหลมรูปกรวย ดังแสดงในรูปที่ 4.7 หัวเจาะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ลงในแนวตั้งด้วยความเร่งคงที่และความหน่วงคงที่ และเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่และความหน่วงคงที่ ตามลำดับ รูปร่างและขนาดของลูกเบี้ยว พร้อมทั้งระบบลูกเบี้ยวจะถูกออกแบบคำนวณหาขนาดที่ถูกต้อง และทำการตรวจสอบความปลอดภัยและความถูกต้องด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การเคลื่อนที่ของหัวเจาะถูกกำหนดให้เป็นดังนี้ ช่วง $0-180^\circ$ หัวเจาะเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่งคงที่ ช่วง $180-210^\circ$ หัวเจาะถูกยกขึ้นอย่างรวดเร็ว ช่วง $210-310^\circ$ หัวเจาะเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความหน่วงคงที่ ช่วง $310-360^\circ$ หัวเจาะหยุดนิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 หัวเจาะ



รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมระยะขจัดของหัวเจาะ

การสร้างรูปร่างลูกเบี้ยวทำได้โดยอาศัยการกระจัดของตัวตาม โดยเมื่อกำหนดค่ารัศมีพิตช์ (pitch radius, R_p) ของลูกเบี้ยวเท่ากับ 89 mm และรัศมีของลูกกลิ้งเท่ากับ 38 mm ทำให้สามารถกำหนดค่ารัศมีฐาน (base radius, R_b) ของลูกเบี้ยวได้เท่ากับ 50 mm และจากการตรวจสอบการเกิดยอดแหลมของลูกเบี้ยวพบว่า รัศมีส่วนโค้ง (radius of curvature, R_c) ของลูกเบี้ยวมีค่าเท่ากับ 74.5 mm ซึ่งมีความมากกว่ารัศมีของลูกกลิ้ง ดังนั้นลูกเบี้ยวจะไม่เกิดยอดแหลม

การหาความหนาของลูกเบี้ยวสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าความเค้นสัมผัส (contact stress, S_c) ระหว่างลูกกิ้งของตัวตามกับขอบของลูกเบี้ยว จากการคำนวณจะได้ค่าความเค้นสัมผัสเท่ากับ 401 MPa เมื่อเลือกใช้เหล็กกล้า AISI C1045 ทำลูกเบี้ยว ซึ่งมีค่าความเค้นที่จุดคราก $S_y = 530$ MPa และค่าความต้านทานทานผิว $S_c = 483$ MPa ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำลูกเบี้ยวสามารถทนต่อแรงกดที่ผิวได้ การคำนวณหาความหนาของลูกเบี้ยวโดยใช้สูตรแรงกดระหว่างลูกกิ้งกับลูกเบี้ยว ซึ่งมีแรงกดสูงสุดเท่ากับ 2,099.73 N และความต้านทานทานผิวที่ลูกเบี้ยวรับได้เท่ากับ 483 MPa จะได้พื้นที่รับแรงกดคือ 4.35 mm^2 จากการทดสอบพบว่าความกว้างของพื้นที่สัมผัสกันมีค่าเท่ากับ 0.5 mm ดังนั้นสามารถคำนวณหาความหนาของลูกเบี้ยวได้คือ 8.694 mm แต่เพื่อความปลอดภัยจึงเลือกใช้ความหนา 20 mm ซึ่งเมื่อคิดค่าความปลอดภัยจะได้เท่ากับ 2.30






ความสมดุลและพลังงานจลน์ของลูกเบี้ยวถูกวิเคราะห์โดยใช้รูปร่างของลูกเบี้ยว 5 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากการตรวจสอบความสมดุลและพลังงานจลน์ของลูกเบี้ยวพบว่ารูปแบบของลูกเบี้ยวแบบที่ 5 มีความเหมาะสมกับการใช้งาน เพราะมีค่าพลังงานจลน์ต่ำที่สุด ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด

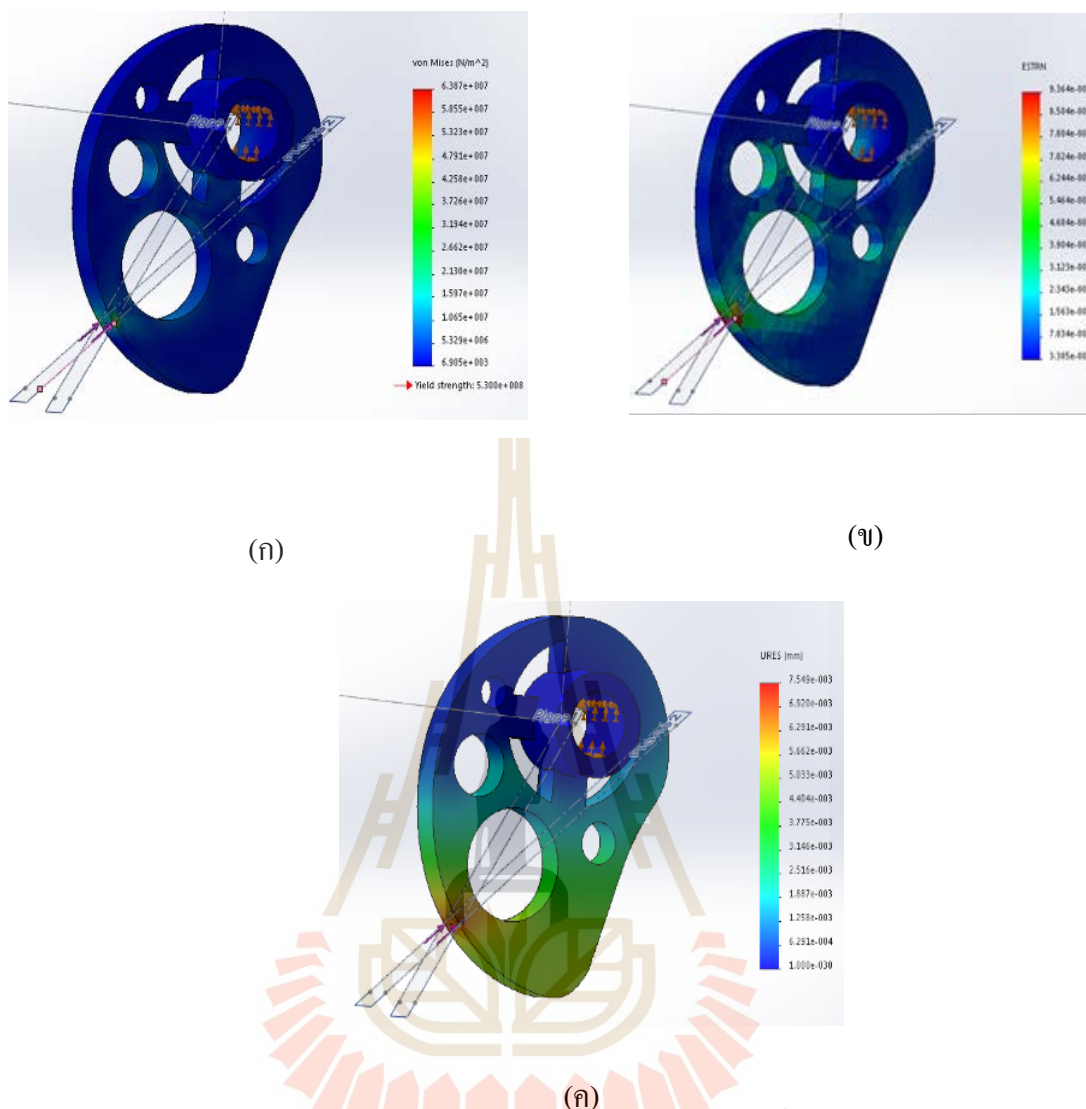
การวิเคราะห์ความแข็งแรงของลูกเบี้ยวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำโดยการกำหนดแรงกระทำ $P_n = 1,594.06 \text{ N}$ กระทำที่ลูกเบี้ยวตรงตำแหน่งมุม 150° จากแนวตั้ง รูปที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รูป 4.9 (ก) แสดงค่าความเค้น Von mises ที่เกิดบนชิ้นงาน จะมีค่าสูงสุดบนบริเวณที่แรงกระทำคือ 63.87 MPa ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength คือ 530 MPa และค่าความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 8.3 ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหายขณะใช้งาน

รูป 4.9(ข) แสดงค่าความเครียด (strain) ที่เกิดบนชิ้นงาน จะมีค่าสูงสุดบนบริเวณที่แรงกระทำคือ $0.9364 \mu\epsilon$ ซึ่งมีค่าน้อยมากจนไม่เกิดความเสียหายกับชิ้นงาน

รูป 4.9 (ค) แสดงค่าการขยับตัว (displacement) ที่เกิดบนชิ้นงาน จะมีค่าสูงสุดบนบริเวณที่แรงกระทำคือ $7.549 \times 10^{-3} \text{ mm}$ ซึ่งมีค่าการขยับตัวของชิ้นงานน้อยมาก จนไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นงาน

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความสมดุลและพลังงานจลน์ของลูกเบี้ยว

แบบที่	รูปร่างลูกเบี้ยว	ระยะระหว่างจุด ศูนย์กลางมวลและจุด หมุน (mm)	แรงหนีศูนย์กลาง (N)	พลังงานจลน์ในการหยุด ลูกเบี้ยว (J)
1		37.14	12.05	0.909
2		42.94	12.06	0.868
3		36.25	11.71	0.875
4		35.22	7.99	0.68
5		30.24	6.43	0.45

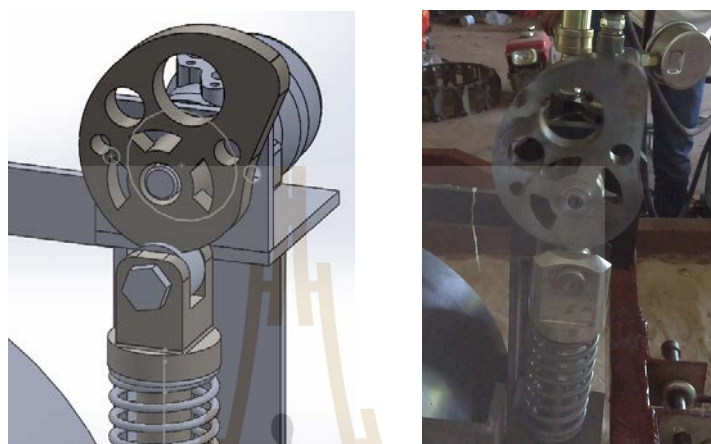


รูปที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของลูกเบี้ยว (ก) ความเค้น (ข) ความเครียด (ค) การยุบตัว

ในการออกแบบสปริงจะกำหนดวัสดุทำสปริง คือ ASTM 230, ระยะยุบตัว 85 mm, แรงกดสปริง 500 N, $C = 10$, ระยะยุบเริ่มต้น 5 mm, แรงยึดเหนี่ยวหัวเจาะของเนื้อดินเฉลี่ย 157 N, แรงต้านจากดิน = 0.88 MPa ผลจากการคำนวณจะได้ ขนาดของลวดสปริง, $d = 8$ mm, ขนาดผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง, $D = 80$ mm, ค่าดัชนีสปริง, $k = 5.88$ N/mm, จำนวนขดสปริงทั้งหมด, $n_t = 17$ ขด, ความยาวอิสระของขดสปริง, $L_f = 250$ mm, ระยะพิตช์ของขด, $p = 15.6$ mm

สรุปผลการออกแบบกลไกลูกเบี้ยวเป็นดังนี้ รูปร่างของลูกเบี้ยวถูกสร้างตามการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ ลูกเบี้ยวถูกถกลมวลเพื่อลดการสั่นสะเทือน จุดศูนย์กลางมวลของลูกเบี้ยวอยู่ห่างจาก จุดศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ 30.2 mm เมื่อกำหนดให้ลูกเบี้ยวหยุดหมุนอย่างทันที ลูกเบี้ยว

จะมี แรงหนีศูนย์กลางเท่ากับ 6.43 N และพลังงานจลน์เท่ากับ 0.45 J จากการตรวจสอบความแข็งแรงของลูกเบี้ยวพบว่า ลูกเบี้ยวมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 8.3 กลไกลูกเบี้ยวถูกแสดงในรูปแบบที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กลไกลูกเบี้ยว

จากการทดสอบเจาะหลุม โดยใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm พบว่า เมื่อดินถูกกำหนดความชื้นและความแข็งประมาณ 8-13 % (wb) และ 5 -10 kPa จะได้ความกว้าง ความยาว และความลึกในการเจาะเฉลี่ย 38.5, 37.8 และ 55.7 mm ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยหลุมมีรูปร่างค่อนข้างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากขนาดหลุมค่อนข้างเล็กทำให้หยอดปุ๋ย ค่อนข้างลำบาก หัวเจาะจึงถูกขยายให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเท่ากับ 60 mm และ ผลการทดสอบเจาะหลุมถูกแสดงในตารางที่ 4.3 จากการทดสอบพบว่าหัวเจาะแบบใหม่สามารถ เจาะหลุมได้กว้าง ยาว และลึกขึ้นเฉลี่ย 63.5, 63.5 และ 53.0 mm ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ขนาดของหลุมเมื่อใช้หัวเจาะขนาด 50 mm

No.	Hole size			Volume of hole (cm ³)
	Width (mm)	Length (mm)	Depth (mm)	
1	41.1	41.3	60.6	26.9
2	42.6	42.0	53.0	24.8
3	31.7	30.1	41.5	10.4
Avg.	38.5	37.8	55.7	20.7

ตารางที่ 4.3 ขนาดของหลุมเมื่อใช้หัวเจาะขนาด 60 mm

No.	Hole size			Volume of hole (cm ³)
	Width (mm)	Length (mm)	Depth (mm)	
1	62.5	62.5	59.7	61.1
2	64.5	64.5	53.0	57.7
3	63.5	63.5	53.0	56.0
Avg.	63.5	63.5	53.0	58.3

4.1.2 ผลการออกแบบชุดโครงหลักและชุดโครงรอง

ชุดโครงหลักทำหน้าที่ต่อเชื่อมกับรถแทรกเตอร์และเชื่อมยึดโครงรองให้อยู่ในแนวระดับด้วยแขนต่อแบบ four bar linkage พร้อมทั้งรองรับแรงสะท้อนกลับจากการเจาะดินของชุดเจาะหลุมด้วยสปริงขดรับแรงกด นอกจากนี้สปริงจะทำหน้าที่กดล้อรับน้ำหนักให้สัมผัสกับพื้นดินป้องกันการกระโดดของล้อขณะชุดเจาะทำงาน

ชุดโครงรองจะยึดอุปกรณ์ทั้งหมดของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบหยอดหลุมอัตโนมัติสำหรับพืชสวน โดยล้อรองรับน้ำหนักจะสัมผัสกับพื้นตลอดเวลา ทำให้ทราบระยะทางในการเคลื่อนที่ และเป็นตัวกำหนดการทำงานของชุดเจาะหลุมโดยการส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมสั่งเจาะหลุมตามที่โปรแกรมกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ชุดโครงหลักและโครงรอง

4.1.3 ผลการออกแบบและทดสอบชุดหยอดปุ๋ย

ชุดหยอดปุ๋ยประกอบด้วยถังใส่ปุ๋ย ท่อสายยางลำเดี่ยว และกลไกกำหนดปริมาณและปล่อยปุ๋ย โดยกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นช่องว่างเพื่อเติมปุ๋ย เมื่อได้ปริมาณปุ๋ยตามที่ต้องการ PLC จะส่งสัญญาณไปขับ solenoid switch เพื่อปล่อยปุ๋ยที่มีปริมาณตามกำหนดลงหลุม โดยไหลผ่านท่อสายยาง กลไกปล่อยปุ๋ยจะถูกปิดโดยอาศัยแรงดึงจากสปริง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จากการทดสอบการหยอดปุ๋ยของเครื่องใส่ปุ๋ยจำนวน 20 ครั้ง พบว่าปริมาณปุ๋ยที่หยอดลงไปแต่ละหลุมนั้นมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.8 g ดังแสดงในตารางที่ 4.4



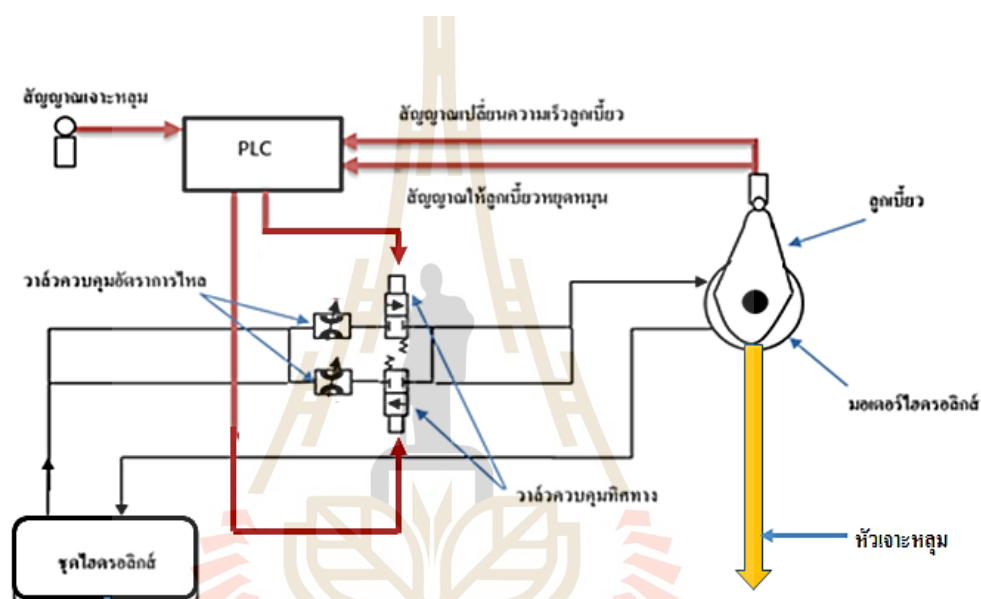
รูปที่ 4.12 ชุดหยอดปุ๋ยของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.4 การทดสอบชุดหยอดปุ๋ย

ครั้งที่	ปริมาณปุ๋ย (g)	ครั้งที่	ปริมาณปุ๋ย (g)
1	6.2	11	5.7
2	5.9	12	5.7
3	5.8	13	5.7
4	5.9	14	5.8
5	5.9	15	6.0
6	6.0	16	5.4
7	5.7	17	5.7
8	5.5	18	5.7
9	5.9	19	5.5
10	6.0	20	5.1
		Avg.	5.8

4.1.4 ผลการออกแบบชุดควบคุมอัตโนมัติ

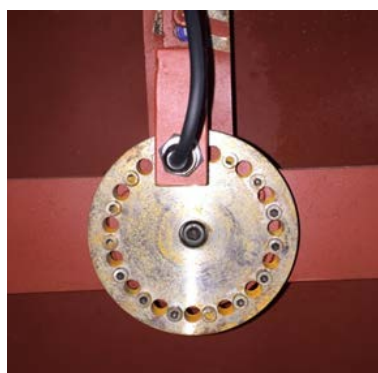
ชุดควบคุมอัตโนมัติจะอาศัยการทำงานของชุด PLC เช่น เซอร์แบบพรีอ็อกซิมีตี รีเลย์ สวิตช์ วาล์วควบคุมทิศทาง วาล์วควบคุมการไหล และคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย โดย PLC จะควบคุมการไหลของน้ำมัน ไฮดรอลิกเพื่อขับเคลื่อนลูกเบี้ยวของชุดเจาะหลุม ควบคุมระยะห่างระหว่างหลุม และควบคุมการปิดเปิดของกลไกการหยอดปุ๋ยของชุดหยอดปุ๋ย ความเร็วของลูกเบี้ยวถูกปรับให้ลดลงได้ด้วยการปิดวาล์วควบคุมการไหลข้างหนึ่ง และลูกเบี้ยวจะหยุดเมื่อปิดทั้งสองข้าง แผนผังการทำงานของชุดควบคุมอัตโนมัติแสดงไว้ใน รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 Schematic diagram of control unit

4.1.5 ผลการทดสอบระยะห่างระหว่างหลุม

การทดสอบหาระยะห่างระหว่างหลุมกระทำในกระบะดิน ในการทดสอบจะใช้งานหลักติดบริเวณล้อ และติดตั้งเซนเซอร์แบบพรีอ็อกซิมีตีเพื่ออ่านค่าจากสกรูที่ติดบนงานหลัก โดยจะส่งสัญญาณไปยัง PLC เพื่อทำการเจาะหลุม ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งในงานหลักนั้นจะมีจำนวน สกรู 15 รู โดยแบ่งระยะห่างระหว่างหลุมเป็น 2 ระยะ ที่มุม 24° และ 48° เมื่อวัดจาก เส้นผ่านศูนย์กลางของงานหลัก



รูปที่ 4.14 Distance metering steel disk

ผลจากการทดสอบโดยใช้งานเหล็กกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมและใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm พบว่า เมื่อตั้งตำแหน่งเซนเซอร์ที่มุม 24° และ 48° จะได้ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ยดังนี้ 112.3 และ 225.8 mm ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.5 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้อีกมาคำนวณเปรียบเทียบค่าระยะห่างทางทฤษฎีจะได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 99.5% จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่างานเหล็กสามารถกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 4.5 ระยะห่างระหว่างหลุม

Hole No.	Angle 24° (mm)	Angle 48° (mm)
1-2	108.6	220
2-3	111.0	224
3-4	113.1	225
4-5	112.1	230
5-6	116.9	230
Avg.	112.3	225.8

4.2 ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในกระบะดิน

4.2.1 ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

จากการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยในกระบะดินในห้องปฏิบัติการ โดยใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm พบว่า เมื่อกำหนดความชื้นของดินที่ระดับความลึกประมาณ 10 cm เท่ากับ 8, 13 และ 17 % (wb) ทำให้ดินมีค่าความแข็งเท่ากับ 64.6, 38.7 และ 12.9 kPa ตามลำดับ และทำให้สามารถเจาะหลุมที่มีระยะห่างระหว่างหลุมประมาณ 22.6 cm ได้ปริมาตรเท่ากับ 43.5, 62.0 และ 69.0 cm³ ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ความชื้นมีอิทธิพลต่อความแข็งของดินและขนาดของหลุมเจาะ เพราะเมื่อความชื้นในมวลดินสูงขึ้นทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง ซึ่งส่งผลให้ขนาดของหลุมเจาะใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะเมื่อความชื้นสูงขึ้นก็จะส่งผลให้สภาพของหลุมสมบูรณ์ขึ้น โดยเห็นได้จากค่าความกว้างและความยาวของหลุมที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงใน ตารางที่ 4.6-4.8 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อดินมีค่าความชื้นอยู่ในระดับที่หัวเจาะสามารถเจาะดินได้ ตามระดับความลึกที่ออกแบบไว้ ขนาดของหลุมเจาะก็จะมีค่าคงที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.15 ส่วนคุณภาพของการใส่ปุ๋ยไม่ขึ้นกับค่าความชื้น ($p > 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 นอกจากนี้ ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่า แขนต่อแบบ four bar linkage และสปริงรับแรงกดช่วยให้ ความลึกของหลุมที่เจาะได้มีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ

จากการทดสอบความสามารถในการปล่อยปุ๋ยของชุดหยอดปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถปล่อยปุ๋ยได้เฉลี่ยครั้งละ 5.8 g และเมื่อกำหนดความเร็วในการทำงานเท่ากับ 0.1 m/s ดังนั้นเครื่องใส่ปุ๋ยจะมีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 18.8 kg/h ด้วยระดับความถูกต้องมากกว่า 97% จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าเครื่องใส่ปุ๋ยมีความสามารถในการทำงานค่อนข้างต่ำ ดังนั้นควรกำหนดตำแหน่งรูนานเหล็กให้มีความละเอียดมากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองเหล่านี้ยังแสดงให้เห็นว่าเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมที่ได้ออกแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.6 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb)

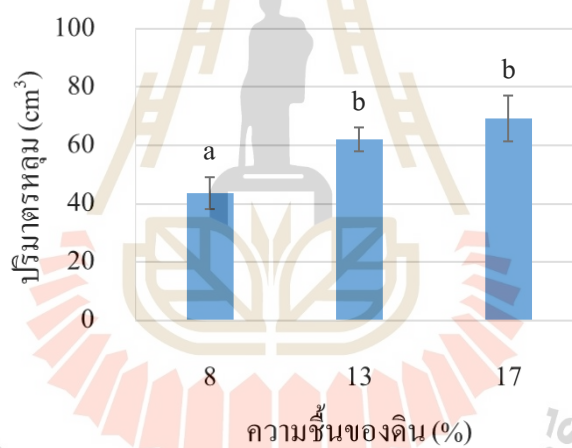
Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Width (mm)	Length (mm)	Depth (mm)			
1	53.3	52.6	49.6	36.4	0.22	96.2
2	57.3	56.8	49.4	42.0	0.19	96.7
3	58.0	54.3	53.8	44.4	0.13	97.8
4	59.3	58.3	57.3	51.8	0.06	99.0
5	56.4	53.8	54.8	43.5	0.06	99.0
Avg.	56.8	55.2	53.0	43.5	0.13	97.8

ตารางที่ 4.7 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 13 %(wb)

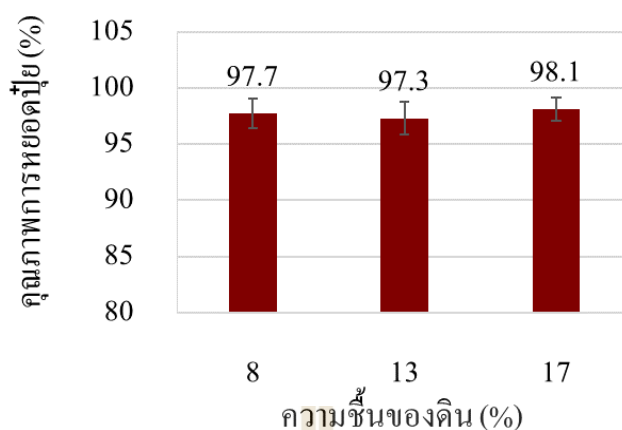
Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Width (mm)	Length (mm)	Depth (mm)			
1	65.0	63.8	62.2	67.5	0.17	97.1
2	65.1	63.9	59.3	64.7	0.25	95.7
3	62.3	63.6	58.6	60.7	0.05	99.1
4	63.8	63.5	56.8	60.2	0.09	98.5
5	58.2	64.7	57.7	56.9	0.22	96.2
Avg.	62.9	63.9	58.9	62.0	0.16	97.2

ตารางที่ 4.8 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 17%(wb)

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Width (mm)	Length (mm)	Depth (mm)			
1	64.3	63.0	57.8	61.3	0.15	97.4
2	63.6	65.2	61.6	66.9	0.09	98.5
3	63.7	60.5	64.8	65.4	0.02	99.7
4	69.8	68.5	65.6	82.2	0.12	97.9
5	62.8	65.0	65.8	70.2	0.16	97.2
Avg.	64.8	64.4	63.1	69.0	0.11	98.1



รูปที่ 4.15 ปริมาณหลุมที่เจาะด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยที่ระดับความชื้นต่างๆ



รูปที่ 4.16 คุณภาพการหอดปุยด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติที่ความชื้นต่างๆ

4.2.2 ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์เกษตร

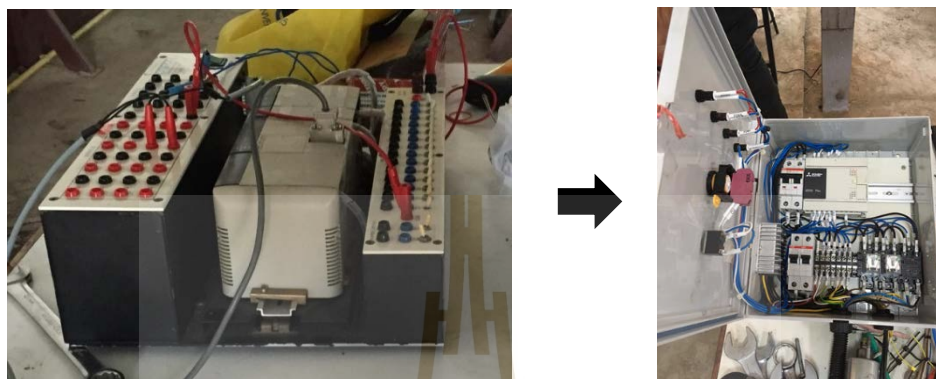
เครื่องใส่ปุ๋ยถูกปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางอย่างเพื่อความเหมาะสมและความสะดวกในการปฏิบัติงานจริงในแปลงเกษตร ดังนี้

- ปรับปรุงงานกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมใหม่เพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่างหลุมที่เหมาะสม โดยแบ่งมุมเป็น 24 มุม มุมละ 15° ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 งานกำหนดระยะห่างระหว่างหลุม

- เปลี่ยน PLC ของชุดควบคุมอัตโนมัติ จากยี่ห้อ Omron เป็นยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3S-30MT/DS เพื่อให้สามารถใช้ไฟจากแบตเตอรี่ของรถแทรกเตอร์ได้ และง่ายต่อการติดตั้งเข้ากับตัวรถแทรกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ชุดควบคุมอัตโนมัติ PLC

- ปรับปรุงถังปุ๋ยให้กระจายน้ำหนักลงที่ล้อรองรับน้ำหนักให้สมดุลโดยไม่เอนเอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง และปรับเปลี่ยนท่อลำเลียงเมล็ดปุ๋ยไปยังหลุมให้รวดเร็วขึ้น ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ถังบรรจุปุ๋ย

น้ำหนักของเครื่องใส่ปุ๋ยหลังจากการปรับปรุงมีค่าประมาณ 175 kg ตารางที่ 4.9 แสดงผลการสอบเทียบปริมาณปุ๋ยที่ชุดหยอดปุ๋ยปล่อยลงหลุม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.64 g ผลการทดสอบการใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.16 m/s มุมเซนเซอร์ที่ล้อ 45°

ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.10-4.12 ส่วนตารางที่ 4.13-4.14 แสดงผลการทดสอบการใส่ปุ๋ยที่มุม เซนเซอร์ที่ลื้อ 30° ตารางที่ 4.15 แสดงสรุปปริมาณปุ๋ยนอกหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย

ตารางที่ 4.9 ปริมาณปุ๋ยที่หยอดในแต่ละหลุม

ครั้งที่	น้ำหนักปุ๋ย+ภาชนะ	น้ำหนักภาชนะ	น้ำหนักปุ๋ย
	(g)	(g)	(g)
1	8.81	2.17	6.64
2	8.82	2.16	6.66
3	8.80	2.12	6.68
4	8.97	2.23	6.74
5	8.60	2.13	6.47
Avg.			6.64

ตารางที่ 4.10 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4%(wb)

Test No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length	Width	Depth			
	(mm)	(mm)	(mm)			
1	58.1	56.9	48.0	41.9	0.15	97.7
2	58.6	59.3	47.3	43.2	0.16	97.6
3	58.3	57.6	48.0	42.8	0.33	95.1
Avg.	58.3	57.9	47.8	42.6	0.21	96.8

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 21.3 cm

ตารางที่ 4.11 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb)

Test No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	64.2	63.2	57.4	61.3	0.20	96.9
2	59.2	58.9	49.1	45.2	0.11	98.4
3	58.9	58.5	51.5	47.1	0.18	97.3
Avg.	60.8	60.2	52.7	51.2	0.16	97.5

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.8 cm

ตารางที่ 4.12 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb)

Test No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	63.9	66.8	62.6	70.0	0.12	98.1
2	63.5	65.3	57.4	62.4	0.06	99.1
3	66.2	65.1	58.9	66.8	0.06	99.1
Avg.	64.5	65.7	59.6	66.4	0.08	98.8

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.6 cm

ตารางที่ 4.13 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb)

Test No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	57.2	55.6	46.0	38.4	0.24	96.5
2	56.4	57.9	45.4	38.8	0.21	96.8
3	58.6	59.7	46.7	43.5	0.29	95.7
Avg.	57.4	57.7	46.0	40.2	0.25	96.3

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 14.1 cm

ตารางที่ 4.14 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb)

Test No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	66.2	65.9	59.5	67.9	0.08	98.8
2	63.4	60.6	53.9	54.3	0.11	98.4
3	66.7	66.1	63.1	85.2	0.09	98.7
Avg.	65.4	64.2	58.8	69.1	0.09	98.6

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 13.9 cm

ตารางที่ 4.15 สรุปรูปปริมาตรหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย

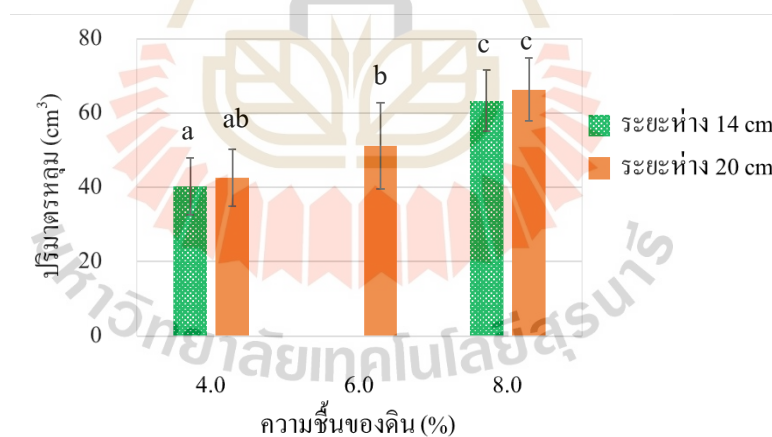
Hole distance (cm)	Moisture content (%(wb))	Hole volume (cm ³)	Quality of fertilizing (%)
20	4	42.6	96.8
	6	51.2	97.5
	8	66.4	98.8
14	4	40.2	96.3
	8	69.1	98.6

จากการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยในกระบะดินในห้องปฏิบัติการ โดยใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm พบว่า เมื่อกำหนดความชื้นของดินที่ระดับความลึก ประมาณ 10 cm เท่ากับ 4, 6 และ 8 %(wb) ทำให้สามารถเจาะหลุมที่มีระยะห่างระหว่างหลุมประมาณ 20 cm ได้ปริมาตรเท่ากับ 42.6, 51.2 และ 66.4 cm³ ตามลำดับ และส่วนที่ระยะห่างระหว่างหลุมประมาณ 14 cm เมื่อกำหนดความชื้นเท่ากับ 4 และ 8 %(wb) จะทำให้สามารถเจาะหลุมได้ปริมาตรเท่ากับ 40.2 และ 63.4 cm³ ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ความชื้นมีอิทธิพลต่อ ขนาดของหลุม ส่วนระยะห่างระหว่างหลุมไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของหลุม เพราะเมื่อความชื้นในมวลดินสูงขึ้นทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง ซึ่งส่งผลให้ขนาดของหลุมเจาะใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20 จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนามาจะเจาะหลุม ได้ขนาดของหลุมที่เท่ากันในทุกะระยะห่างระหว่างหลุม

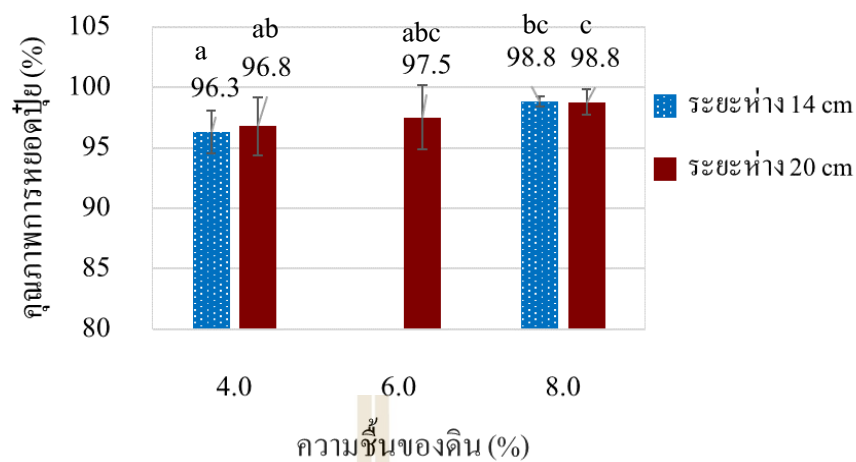
รูปที่ 4.21 แสดงคุณภาพของการหยอดปุ๋ยของเครื่องใส่ปุ๋ยที่ระดับความชื้นของดินต่าง ๆ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อดินมีความแตกต่างของความชื้นน้อย คุณภาพของการหยอดปุ๋ย มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาช่วงระดับความชื้นที่กว้างขึ้นจะพบว่าคุณภาพของการหยอดปุ๋ยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนระยะห่างระหว่างหลุมไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพการหยอดปุ๋ย

จากการทดสอบความสามารถในการปล่อยปุ๋ยของชุดหยอดปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถปล่อยปุ๋ยได้เฉลี่ยครั้งละ 6.64 g และเมื่อกำหนดความเร็วในการทำงานเท่ากับ 0.16 m/s ดังนั้นเครื่องใส่ปุ๋ยจะมีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 23.9 kg/h ด้วยระดับความถูกต้องมากกว่า 96%

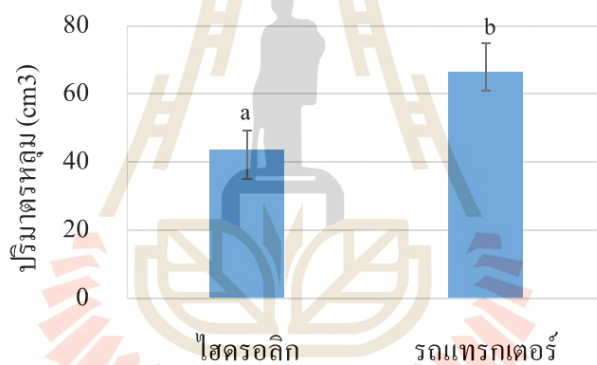
นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของระบบไฮดรอลิกของชุดต้นกำลังไฮดรอลิกและรถแทรกเตอร์พบว่า ระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์มีกำลังสูงกว่าชุดต้นกำลังไฮดรอลิก โดยเห็นได้จากขนาดของหลุมที่เจาะด้วยระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อดินมีระดับความชื้นใกล้เคียงกัน ส่วนคุณภาพของการหยอดปุ๋ยไม่ขึ้นกับต้นกำลังของเครื่องใส่ปุ๋ยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ



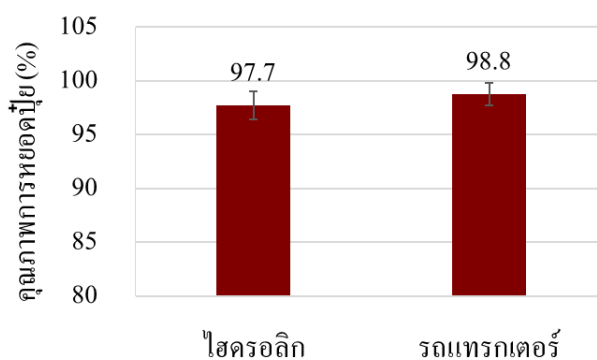
รูปที่ 4.20 ปริมาตรหลุมที่เจาะด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติที่ระดับความชื้นต่างๆ



รูปที่ 4.21 คุณภาพการหยอดปุ๋ยด้วยเครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติที่ระดับความชื้นต่างๆ



รูปที่ 4.22 ปริมาณหลุมที่เจาะด้วยเครื่องหยอดปุ๋ยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.23 คุณภาพการหยอดปุ๋ยด้วยเครื่องหยอดปุ๋ยอัตโนมัติ

4.2.3 ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงเกษตร

รูปที่ 4.24-4.26 แสดงการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติขณะปฏิบัติงานในแปลงเกษตร ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงเกษตรเพื่อหาขนาดของหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ยพบว่า เมื่อใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm เจาะดินที่มีความชื้น 6%(wb) (ระดับความลึกประมาณ 10 cm) จะได้ปริมาตรหลุมที่ถูกเจาะและคุณภาพการหยอดปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.3 cm^3 และ 97% โดยมีระยะห่างระหว่างหลุม ประมาณ 15 cm ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบนี้ กับผลการทดสอบที่ทำในกระบะดินพบว่า ปริมาตรหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ยไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.27 นอกจากนี้แรงดึงในแนวระดับที่ใช้ชุดลาก เครื่องใส่ปุ๋ยและ การสิ้นเปลืองของรถแทรกเตอร์มีค่าเท่ากับ 618 N และ 1.31% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.28-4.29 และตารางที่ 4.17



รูปที่ 4.24 การปล่อยปุ๋ยลงหลุม



รูปที่ 4.25 การกลบหลุมหลังการปล่อยปุ๋ย

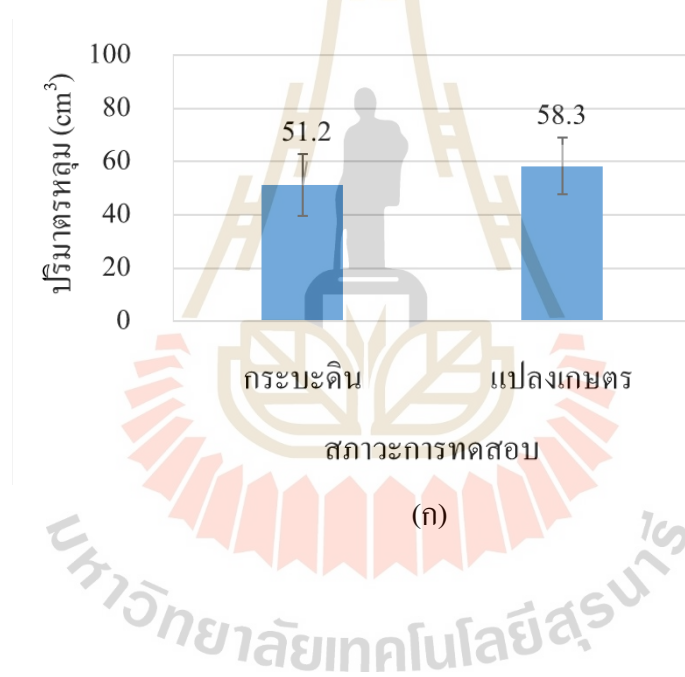


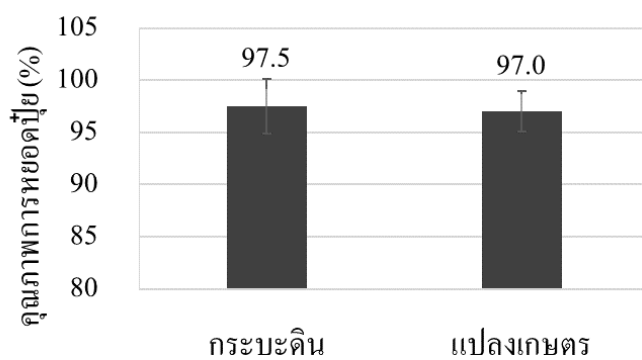
รูปที่ 4.26 การวัดแรงดึงในแนวระดับของเครื่องไถปุ๋ยในแปลงทดสอบ

ตารางที่ 4.16 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6%(wb)

Test No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	66.4	67.4	51.4	60.5	0.15	97.8
2	62.4	63.8	46.2	48.5	0.25	96.3
3	67.7	68.3	54.3	65.9	0.20	97.0
Avg.	65.5	66.5	50.6	58.3	0.20	97.0

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 15.0 cm

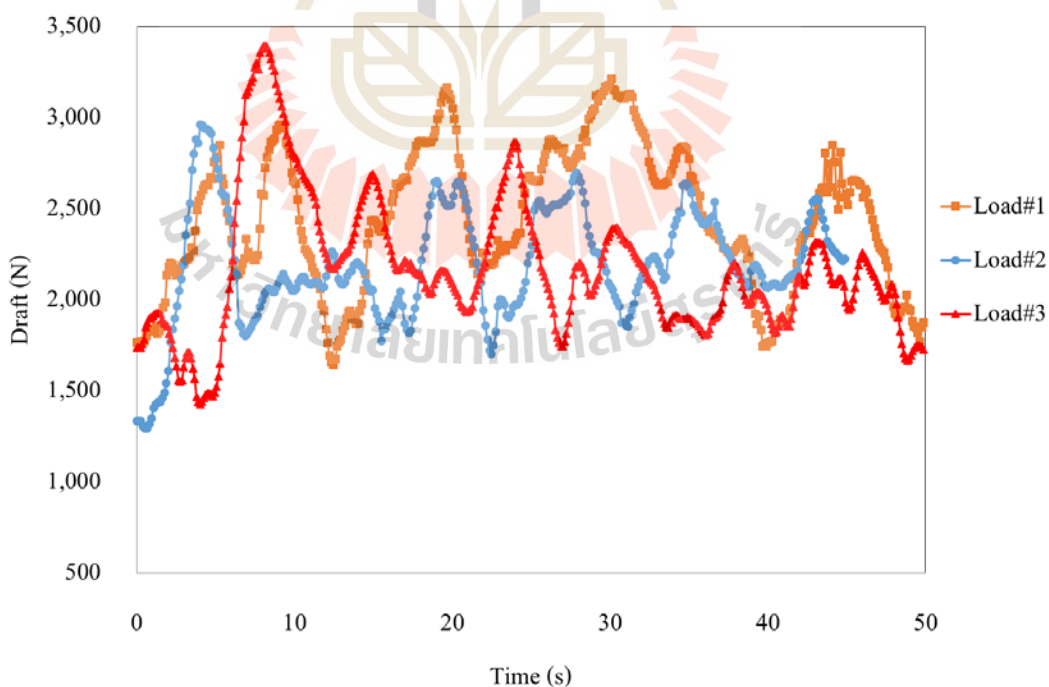




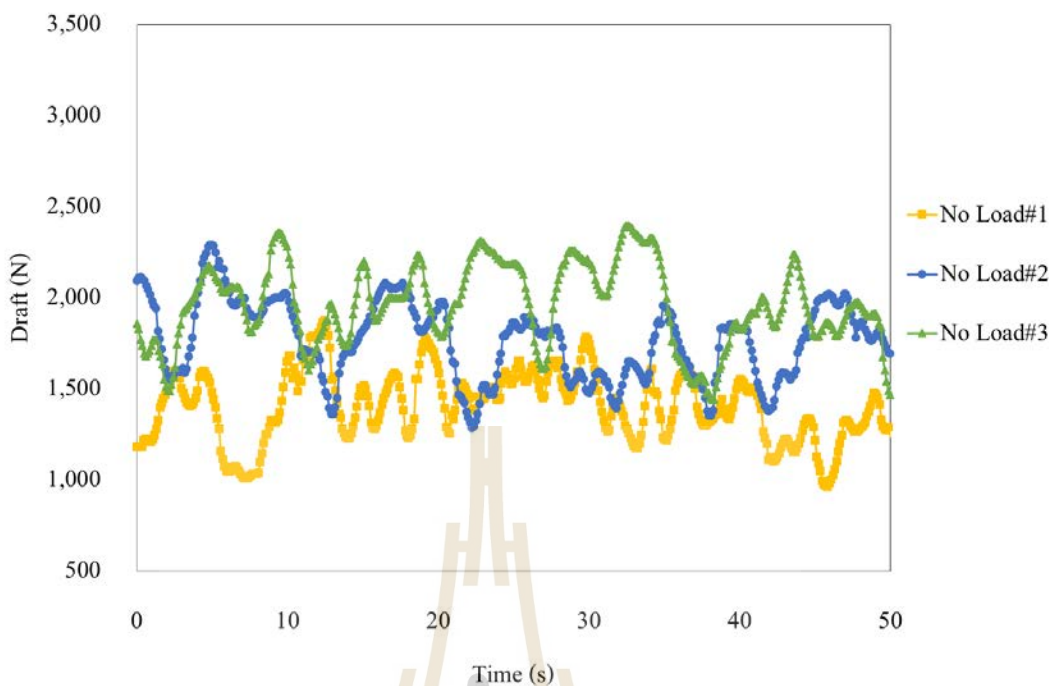
สภาวะการทดสอบ

(ข)

รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ ในสภาวะการทดสอบในกระทบดินและแปลงเกษตร (ก) ปริมาตรหลุม และ (ข) คุณภาพของการหยอดปุ๋ย



รูปที่ 4.28 แรงดึงในแนวระดับขณะมีภาระ



รูปที่ 4.29 แรงดึงในแนวระดับขณะไม่มีภาระ

ตารางที่ 4.17 การสิ้นเปลืองของรถแทรกเตอร์ขณะจุดลากเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ

ครั้งที่	No Load (m)	Load (m)	Slip (%)
1	11.46	11.37	
2	11.50	11.29	
3	11.41	11.26	
Avg.	11.46	11.31	1.31

รูปที่ 4.30 แสดงการทดสอบหาสมรรถนะในการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงยางพาราจำลอง ผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดตำแหน่งเกียร์ไว้ที่ 1L และความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,000 rpm จะทำให้มีความเร็วในการทำงานเท่ากับ 0.16 m/s ความสามารถในการทำงานประสิทธิภาพจริงเท่ากับ 0.36 rai/h ประสิทธิภาพในการทำงาน เท่ากับ 73.6% และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.37 L/h หรือ 1.03 L/rai เมื่อพิจารณาความสามารถในการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยพบว่า ชุดหยอดปุ๋ยสามารถปล่อยปุ๋ย ได้

เฉลี่ยครั้งละ 6.64 g ดังนั้นเครื่องไถพรวนจะมีความสามารถในการไถพรวนเท่ากับ 23.9 kg/h ด้วยระดับความถูกต้องมากกว่า 97%



รูปที่ 4.30 การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องไถพรวนในแปลงยางพาราจำลอง

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องไถพรวนแบบเจาะหลุมอัตโนมัติในแปลงยางพาราจำลอง

Fertilizing data	Unit	
Gear	-	1L
Engine speed	rpm	1,000
Area	m ²	324
Speed	km/h	0.58
Working time	s	1,508
Total elapsed time	s	2,048
Effective area capacity	rai/h	0.36
Field efficiency	%	73.6
Elapsed fuel	cm ³	210
Fuel consumption	L/h	0.37
Fuel consumption	L/rai	1.03

รูปที่ 4.31-4.32 แสดงการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติขณะปฏิบัติงานในแปลงยางพาราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยเพื่อหาขนาดของหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย เมื่อกำหนดตำแหน่งเกียร์ไว้ที่ 1L และความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,000 rpm พบว่า เมื่อใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm และกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมประมาณ 15 cm จะได้ปริมาตรหลุมที่ถูกเจาะและคุณภาพการหยอดปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.4 cm^3 และ 73.1% ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.19 จากการวิเคราะห์การลดลงของคุณภาพการหยอดปุ๋ยในแปลงยางพาราเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงเกษตรและกระบะดินในห้องปฏิบัติการ มีสาเหตุหลักเนื่องมาจากความแข็งของผิวดินทำให้การเจาะหลุมมีความลึกน้อยกว่าปกติ ปากหลุมจึงมีขนาดความกว้างไม่เพียงพอที่จะรองรับปริมาณปุ๋ยในการหยอดแต่ละครั้ง ได้หมด ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.31 การปล่อยปุ๋ยลงหลุม



รูปที่ 4.32 การกลบหลุมหลังการปล่อยปุ๋ย



รูปที่ 4.33 สภาพแปลงหลังทำงาน

ตารางที่ 4.19 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb)

No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	37.6	39.3	28.5	11.0	1.60	75.9
2	37.9	36.1	27.2	9.8	1.93	71.0
3	38.9	35.9	28.0	10.3	1.84	72.3
Avg.	38.2	37.1	27.9	10.4	1.79	73.1



(ก) แปลงขางพารา

(ข) แปลงเกษตร

(ค) กระบะดินในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบการหยอดปุ๋ยในแปลงขางพารา แปลงเกษตร และกระบะดิน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการศึกษาเรื่องการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพาราสามารถสรุปผลการศึกษาออกแบบหัวข้อย่อยได้ดังนี้

5.1.1 การออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติ

1. เครื่องใส่ปุ๋ยถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน คือ ชุดเจาะหลุม ชุดหยอดปุ๋ย ชุดโครงหลัก ชุดโครงรอง และชุดควบคุมอัตโนมัติ
2. ชุดเจาะหลุมที่เหมาะสมต่อการใช้งานถูกสร้างโดยใช้มอเตอร์ไฮดรอลิกขับเคลื่อน ไกลูกเบี้ยว

5.1.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1. ความชื้นของดินมีอิทธิพลต่อขนาดหลุม เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นไปจะส่งผลให้ขนาดของหลุมเจาะใหญ่ขึ้น
2. คุณภาพการหยอดปุ๋ยขึ้นกับค่าความแตกต่างของความชื้นของดิน เมื่อดินมีความแตกต่างของความชื้นน้อย คุณภาพของการหยอดปุ๋ยมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อความแตกต่างของความชื้นมากจะพบว่าคุณภาพของการหยอดปุ๋ยมีค่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
3. ระยะห่างระหว่างหลุมไม่มีอิทธิพลต่อขนาดหลุมและคุณภาพการหยอดปุ๋ย
4. คุณภาพการหยอดปุ๋ยมีค่ามากกว่า 97%

5.1.3 การทดสอบในแปลงเกษตร

1. เครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาสามารถปฏิบัติงานในแปลงยางได้จริง โดยมีคุณภาพการหยอดปุ๋ยในแปลงยางพาราจำลองและแปลงยางพาราจริงมากกว่า 97% และ 73% ตามลำดับ เพราะเครื่องใส่ปุ๋ยนี้ถูกออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน และมีความต้องการ แรงจุดลากต่ำ
2. รูปแบบการใส่ปุ๋ยให้เพียงพอต่อความต้องการของต้นยางพารามีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย การปรับระยะห่างระหว่างหลุมเจาะจะขึ้นอยู่กับปริมาณปุ๋ยที่จะใส่ต่อต้นต่อครั้ง ขนาดช่องว่างเดิมปุ๋ยของกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ย และจำนวนหัวเจาะหลุม ที่

ประกอบเข้ากับตัวเครื่องใส่ปุ๋ยในแต่ละครั้ง เครื่องใส่ปุ๋ยนี้สามารถปรับระยะห่างระหว่างหลุมได้ 4 ระยะคือ 30° , 45° , 60° , 90° และ 120° หรือ 13.1 cm, 19.6 cm, 26.2 cm, 39.3 cm และ 52.4 cm

จากผลการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมที่ได้พัฒนานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเครื่องใส่ปุ๋ยนี้ยังมีความสามารถในการทำงานประสิทธิผลค่อนข้างต่ำ จึงควรปรับปรุงขนาดของลูกเบี้ยวของชุดเจาะหลุมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถเจาะหลุมได้เร็วขึ้น
2. ในการทดสอบพบว่า solenoid switch ของชุดหยอดปุ๋ยเกิดความร้อนสูง ส่งผลให้เกิดการติดขัดในบางครั้ง ดังนั้นควรปรับเปลี่ยนกลไกมาทดแทน
3. ควรเพิ่มน้ำหนักของเครื่องใส่ปุ๋ยให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถทำงานในพื้นที่ที่มีสภาพดินแข็งได้ดียิ่งขึ้น



รายการอ้างอิง

- ชัยวัฒน์ ทิฆมาณิช และพิชัย จันทน์มณี. (2551). รายงานการวิจัย เรื่องการศึกษาและพัฒนาเครื่อง
เจาะดินสำหรับปลูกต้นไม้ขนาดเล็ก. โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- นุชนารถ กังพิศดาร (2527). การไถพรวนระหว่างแถวยาง, วารสารยางพารา 5(1): 28-35
- นุชนารถ กังพิศดาร (2550). ปุ๋ยเคมีกับการเพิ่มศักยภาพการผลิตยางพารา. ส่วนการผลิตยาง
สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- พยงค์ศักดิ์ จุลยุเสณ (2552). การออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร, เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชา
วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา
- มงคล คราพันธ์ และยงยุทธ์ เสียงคัง (2547). เครื่องโรยปุ๋ยยางพารา. แผนกวิชาช่างกลเกษตรและ
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา
- มงคล คราพันธ์ (2552). การพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยยางพารา (2). วารสารวิจัย มข. 14(11): 1007-1024
- Adrian A. Koller, Randal K. Taylor and William R. Raun. (2017). **Singulating hand
planter and fertilizer applicator**. United States Patent.
- Dean A. Knobloch, Michael C. Hatton and Matthew R. Sudbrink. (2014). **Fertilizer
applicator with in frame folding actuator for folding and outer frame
member relative to an inner frame member**. United States Patent
- Donald A. Guzan. (1996). **Dry granular fertilizer root feeder**. United States Patent
- Edwin W. Anderson. (1986). **Combined seed drill and fertilizer applicator**. United
States Patent
- Gaylen Kromminga and William J. Dietrich. (1994). **Agricultural fertilizer applicator
including self-leveling wagon hitch**. United States Patent
- James W. Speer. (2005). **Fertilizer dispensing device**. United States Patent
- Jerome Robillard. (2005). **Subsoil fertilizer applicator**. United States Patent
- Jin Yuan, Cheng-Liang Liu, Yan-Min Li, Qingbing Zeng and Xuan F. Zha. (2010).
**Gaussian processes bivariate control parameters optimization of variable-
rate granular fertilizer applicator**. Computer and electronics in agriculture.
Vol. 70:33-41.

- J. L. Baker, T. S. Colvin, S. J. Marley and ML Dawelbeit. (1989). **A point-injector applicator to improve fertilizer management.** American society of agricultural engineers. Vol. 5(3)
- J. N. Moran. (1967). **Apparatus for supplying fertilizer to the soil.** United States Patent
- K. Krarup. (1970). **Fertilizer applicator.** United States Patent
- Nguyen, N.V., Yamane, S. and Mochizuki, Satoshi (2014). **Automated Dibble Fertilizer Applicator for Lettuce Transplanter (Part 1),** Concept, Development and Functional Test. Journal of JSAM 76(2): 195-202.
- Richard E. Engel, Thomas Fischer, John Miller and Grant Jackson. (2003). **A small-plot seeder and fertilizer applicator.** Agronomy journal Vol. 95
- R.L. Parish, P.P. Chaney, W.A. Meadows and D.L. Fuller. (1988). **A dibble fertilizer applicator for containers in nursery beds.** J. Environ. Hort. 6(2):63-66.
- Sandip Mandal and T. C. Thakur. (2010). **Design and development of subsoiler-cum-differential rate fertilizer applicator.** CIGR Journal Vol. 12(1)
- Wan Soo Kim and Jeollabuk-do. (2012). **Powerless double-distribution pans fertilizer distributor.** United States Patent Application Publication.
- W. E. Funk et al. (1967). **Fertilizer applicator.** United States Patent
- William J. Dietrich. (2002). **Knife applicator for applying liquid fertilizer in the ground.** United States Patent.



ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบ

ตารางผนวกที่ ก.1 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 1

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	54.5	52.3	40.4	32.3	0.28	95.8
2	58.7	53.9	49.5	41.0	0.06	99.1
3	62.0	65.7	50.4	53.8	0.10	98.5
4	58.2	56.4	50.6	43.4	0.18	97.3
5	57.3	56.0	46.2	38.8	0.15	97.7
Avg.	58.1	56.9	48.0	41.9	0.15	97.7

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 21.05 cm (20.5 cm, 22.0 cm, 21.0 cm, 20.7 cm)

ตารางผนวกที่ ก.2 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 2

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	55.3	56.6	46.1	37.8	0.39	94.1
2	59.9	60.1	46.9	44.2	0.12	98.2
3	58.0	57.5	47.0	41.0	0.13	98.0
4	56.3	56.4	46.0	38.3	0.10	98.5
5	63.6	65.7	50.2	54.9	0.05	99.3
Avg.	58.6	59.3	47.3	43.2	0.16	97.6

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.9 cm (20.5 cm, 21.5 cm, 21.0 cm, 20.5 cm)

ตารางผนวกที่ ก.3 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 3

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	65.6	64.8	54.0	60.1	0.09	98.6
2	56.4	55.4	48.9	40.0	0.51	92.3
3	58.2	56.7	45.8	39.6	0.28	95.8
4	54.3	55.8	45.6	36.1	0.20	97.0
5	57.0	55.5	45.9	38.0	0.56	91.6
Avg.	58.3	57.6	48.0	42.8	0.33	95.1

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 21.9 cm (22.3 cm, 22.0 cm, 21.2 cm, 22.2 cm)

ตารางผนวกที่ ก.4 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 1

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	62.1	59.0	53.4	51.2	0.44	93.4
2	62.7	63.2	59.2	61.4	0.28	95.8
3	63.4	64.5	57.7	61.8	0.27	95.9
4	63.4	60.6	56.8	57.2	0.01	99.9
5	69.2	68.9	59.9	74.8	0.02	99.7
Avg.	64.2	63.2	57.416	61.3	0.20	96.9

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.7 cm (20.6 cm, 21.2 cm, 20.3 cm, 20.5 cm)

ตารางผนวกที่ ก.5 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6%(wb) ครั้งที่ 2

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	58.9	58.3	46.8	42.1	0.20	97.0
2	54.2	56.1	47.1	37.5	0.18	97.3
3	59.2	55.2	47.1	40.3	0.08	98.8
4	60.0	62.4	50.2	49.2	0.02	99.7
5	63.9	62.3	54.4	56.7	0.06	99.1
Avg.	59.2	58.9	49.1	45.2	0.11	98.4

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.9 cm (21.0 cm, 20.5 cm, 20.5 cm, 21.5 cm)

ตารางผนวกที่ ก.6 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6%(wb) ครั้งที่ 3

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	51.0	51.8	48.4	33.5	0.61	90.8
2	58.5	56.2	48.1	41.5	0.11	98.3
3	56.2	57.1	49.9	42.0	0.13	98.0
4	64.1	61.0	55.6	56.9	0.00	100.0
5	64.5	66.2	55.4	61.9	0.06	99.1
Avg.	58.9	58.5	51.5	47.1	0.18	97.3

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.8 cm (20.5 cm, 21.0 cm, 20.5 cm, 21.3 cm)

ตารางผนวกที่ ก.7 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 1

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	65.4	65.8	67.5	76.1	0.10	98.5
2	63.0	62.7	62.9	65.1	0.10	98.5
3	64.7	65.7	60.2	67.0	0.04	99.4
4	60.4	71.1	57.9	65.5	0.17	97.4
5	66.0	68.6	64.4	76.4	0.21	96.8
Avg.	63.9	66.8	62.6	70.0	0.12	98.1

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.8 cm (20.5 cm, 21.0 cm, 20.5 cm, 21.3 cm)

ตารางผนวกที่ ก.8 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 2

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	64.22	66.3	70.9	79.1	0.00	100.0
2	61.2	65.8	55.9	59.0	0.19	97.1
3	65.6	67.5	50.2	58.2	0.07	99.0
4	61.1	62.9	58.3	58.7	0.00	100.0
5	65.4	64.1	51.8	56.8	0.04	99.4
Avg.	63.5	65.3	57.4	62.4	0.06	99.1

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.7 cm (20.0 cm, 20.6 cm, 21.3 cm, 21.0 cm)

ตารางผนวกที่ ก.9 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 3

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	67.4	66.7	53.7	63.3	0.01	99.9
2	69.3	68.9	66.4	83.0	0.03	99.6
3	66.4	65.1	58.9	66.7	0.09	98.6
4	61.7	59.8	58.9	56.9	0.13	98.0
5	66.2	65.1	56.7	64.0	0.03	99.6
Avg.	66.2	65.1	58.9	66.8	0.06	99.1

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 20.4 cm (20.0 cm, 21.0 cm, 20.0 cm, 20.5 cm)

ตารางผนวกที่ ก.10 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4 %(wb) ครั้งที่ 1

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	57.4	54.9	49.0	40.4	0.28	95.8
2	59.4	62.5	48.2	46.8	0.15	97.7
3	56.0	54.8	46.4	37.3	0.22	96.7
4	57.5	52.6	44.8	35.5	0.24	96.4
5	55.5	53.3	41.5	32.2	0.29	95.6
Avg.	57.2	55.6	46.0	38.4	0.24	96.5

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 14.2 cm (13.9 cm, 15.0 cm, 13.7 cm, 14.0 cm)

ตารางผนวกที่ ก.11 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4%(wb) ครั้งที่ 2

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	58.5	59.8	45.0	41.2	0.18	97.3
2	55.4	57.3	46.8	38.9	0.28	95.8
3	55.1	58.2	44.4	37.2	0.25	96.2
4	54.9	55.1	42.8	33.9	0.10	98.5
5	57.9	58.9	47.8	42.7	0.24	96.4
Avg.	56.4	57.9	45.4	38.8	0.21	96.8

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 14.0 cm (12.7 cm, 15.0 cm, 14.0 cm, 14.3 cm)

ตารางผนวกที่ ก.12 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 4%(wb) ครั้งที่ 3

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	67.2	69.8	52.3	64.2	0.08	98.8
2	57.0	58.9	44.8	39.4	0.40	94.0
3	57.6	55.1	48.1	40.0	0.13	98.0
4	57.6	58.7	45.8	40.5	0.28	95.8
5	53.8	56.0	42.4	33.5	0.55	91.7
Avg.	58.6	59.7	46.7	43.5	0.29	95.7

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 14.2 cm(13.0 cm, 15.8 cm, 14.0 cm, 14.0 cm)

ตารางผนวกที่ ก.13 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 1

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	65.2	64.6	64.9	71.6	0.06	99.1
2	67.8	69.3	58.9	72.5	0.12	98.2
3	64.5	62.7	59.4	62.9	0.03	99.6
4	67.5	66.2	59.4	69.5	0.10	98.5
5	66.0	66.7	54.7	63.0	0.10	98.5
Avg.	66.2	65.9	59.5	67.9	0.08	98.8

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 14.4 cm (14.0 cm, 15.0 cm, 13.5 cm, 15.0 cm)

ตารางผนวกที่ ก.14 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 2

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	68.2	60.5	51.9	56.3	0.13	98.0
2	62.5	58.3	51.0	48.7	0.16	97.6
3	61.2	59.5	51.6	49.1	0.11	98.3
4	61.2	62.5	54.4	54.5	0.06	99.1
5	63.9	62.4	60.4	63.0	0.07	99.0
Avg.	63.4	60.6	53.9	54.3	0.11	98.4

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 13.7 cm (13.5 cm, 14.0 cm, 14.0 cm., 13.3 cm)

ตารางผนวกที่ ก.15 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 %(wb) ครั้งที่ 3

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	67.1	68.8	68.3	82.6	0.07	99.0
2	68.3	64.0	69.4	79.5	0.19	97.1
3	66.4	68.5	62.1	74.0	0.02	99.7
4	68.3	69.3	58.1	72.0	0.10	98.5
5	63.2	60.0	57.4	57.1	0.06	99.1
Avg.	66.7	66.1	63.1	85.2	0.09	98.7

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 13.5 cm (13.5 cm, 14.0 cm, 13.5 cm, 13.0 cm)

ตารางผนวกที่ ก.16 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6 %(wb) ครั้งที่ 1

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	63.8	63.8	48.0	51.2	0.16	97.6
2	64.7	64.7	48.7	53.4	0.13	98.0
3	67.1	69.1	54.8	66.5	0.07	98.9
4	68.5	68.5	55.1	67.7	0.11	98.3
5	68.0	71.1	50.3	63.7	0.26	96.1
Avg.	66.4	67.4	51.4	60.5	0.15	97.8

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 15.1 cm (15.5 cm, 14.0 cm, 16.0 cm, 15.0 cm)

ตารางผนวกที่ ก.17 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6%(wb) ครั้งที่ 2

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	62.4	63.9	47.0	49.1	0.25	96.2
2	61.1	61.9	42.0	41.6	0.01	99.8
3	63.0	60.7	44.4	44.5	0.32	95.2
4	63.0	69.1	55.7	63.6	0.51	92.3
5	62.4	63.5	42.1	43.7	0.14	97.9
Avg.	62.4	63.8	46.2	48.5	0.25	96.3

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 14.7 cm (14.5 cm, 15.0 cm, 15.2 cm, 14.0 cm)

ตารางผนวกที่ ก.18 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 6%(wb) ครั้งที่ 3

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	68.5	68.5	56.5	69.4	0.10	98.5
2	70.0	70.5	59.4	76.7	0.12	98.2
3	63.7	66.0	51.0	56.2	0.18	97.3
4	69.3	69.3	52.5	66.0	0.24	96.4
5	67.0	67.0	52.1	61.2	0.37	94.4
Avg.	67.7	68.3	54.3	65.9	0.20	97.0

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างหลุมเฉลี่ย 15.1 cm (15.2 cm, 15.0 cm, 15.0 cm, 15.1 cm)

ตารางผนวกที่ ก.19 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 % (wb) ครั้งที่ 1

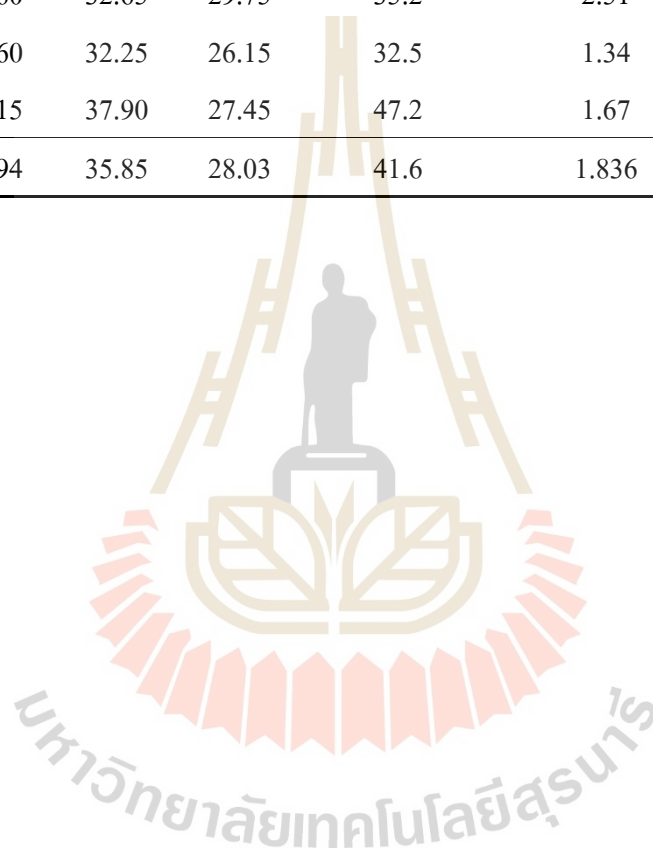
Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	35.35	36.70	25.50	34.7	1.57	76.4
2	35.85	39.00	25.3	37.1	1.80	72.9
3	37.20	37.20	26.6	38.6	1.81	72.7
4	36.35	40.55	30.45	47.1	1.35	79.7
5	43.35	42.80	34.55	67.1	1.49	77.6
Avg.	37.62	39.25	28.48	44.92	1.604	75.9

ตารางผนวกที่ ก.20 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8 % (wb) ครั้งที่ 2

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	32.0	32.9	25.45	28.1	1.80	72.9
2	40.50	38.10	31.15	50.38	2.31	65.2
3	36.95	33.30	28.60	37.0	1.78	73.2
4	37.10	35.85	24.30	33.9	2.06	69.0
5	43.05	40.35	26.70	48.6	1.69	74.5
Avg.	37.92	36.10	27.24	39.6	1.928	70.96

ตารางผนวกที่ ก.21 ขนาดหลุมและคุณภาพการใส่ปุ๋ยที่ความชื้น 8%(wb) ครั้งที่ 3

Hole No.	Hole size			Hole volume (cm ³)	Fertilizer placed outside the hole (g)	Quality of fertilizing (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)			
1	43.90	42.65	29.15	57.2	1.89	71.5
2	36.45	33.80	27.65	35.7	1.77	73.3
3	34.60	32.65	29.75	35.2	2.51	62.2
4	36.60	32.25	26.15	32.5	1.34	79.8
5	43.15	37.90	27.45	47.2	1.67	74.8
Avg.	38.94	35.85	28.03	41.6	1.836	72.32





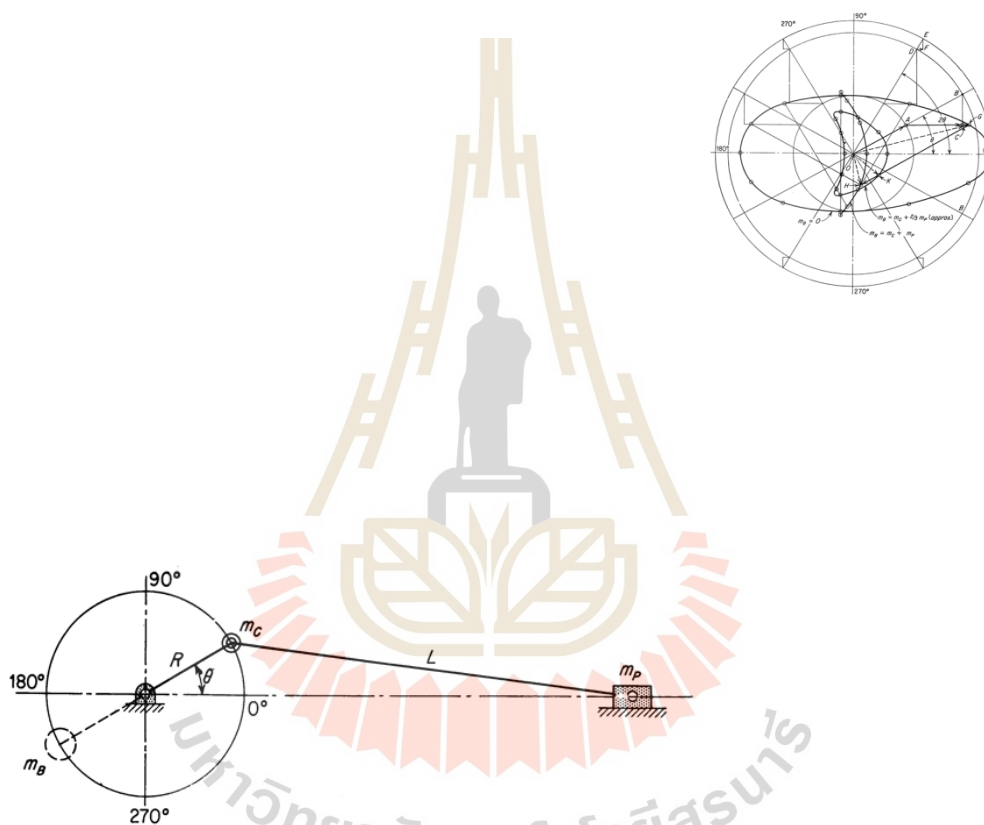
ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 การออกแบบการเจาะหลุมด้วยกลไกเจนีวา

การออกแบบเริ่มจากภาวะโหลดที่ชุดเจาะหลุมจะได้รับ ขณะที่เจาะหลุม โดยคำนวณหา ค่าแรงรวมที่หัวเจาะที่ตำแหน่งมุมข้อเหวี่ยง 0° ดังรูปข้างล่าง ได้จากแรงเฉื่อยและแรงเหวี่ยงของ กลไกชุดข้อเหวี่ยงจากสมการ

$$F_p = m_p R \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right] \text{ และ } F_c = m_c R \omega^2$$



แรงบิดที่ข้อเหวี่ยงเพื่อเจาะหลุม(T_1) = (3,199.6 – 48.29W) x 140 N.mm

แรงบิดที่ดึงหัวเจาะขึ้น = 1,308 + 872.1 + 150W N.mm

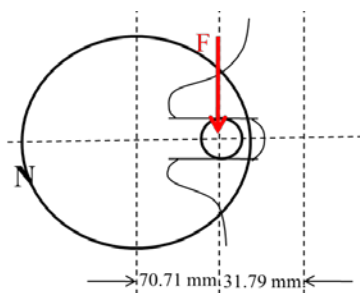
กำหนดให้แรงบิดเพื่อเจาะเท่ากับแรงบิดที่ดึงหัวเจาะขึ้น จะได้ W = 64.5 N

จะได้ $T_1 = 11,885.3$ N.mm, $T_2 = 47,541.2$ N.mm, $T_3 = 106,016.88$ N.mm

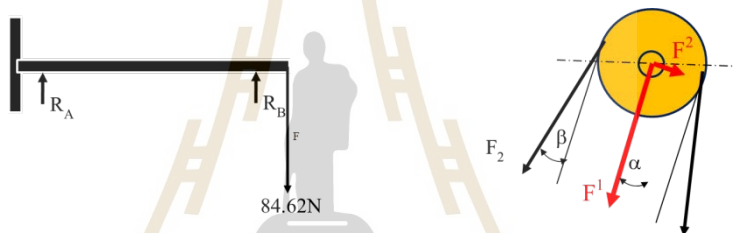
คำนวณขนาดกลไกเจนีวา จะได้ $F = 1,495.48$ N

พิจารณาแรงเฉือน $\tau = F/A$ จะได้ $d = 3.42$ mm. เลือกใช้ $d = 15$ mm.

พิจารณาแรงกด $\sigma = F/dt$ จะได้ $t = 0.55$ mm. เลือกใช้ $t = 10$ mm.



ข.1.1 การออกแบบเพลาค้อเหวี่ยง(1)



หามุมได้ดังนี้ มุม $\beta = 17.63^\circ$, มุม $\alpha = 16.7^\circ$

จะได้ $F_1 = 420.375 \text{ N}$, $F_2 = 140.125 \text{ N}$, $F^1 = 534.18 \text{ N}$, $F^2 = 84.88 \text{ N}$

แตกแรงให้อยู่ในแนวแกน X และ Y จะได้ $F_x = -72.20 \text{ N}$, $F_y = -536.04 \text{ N}$

ก) พิจารณาในแนวตั้ง

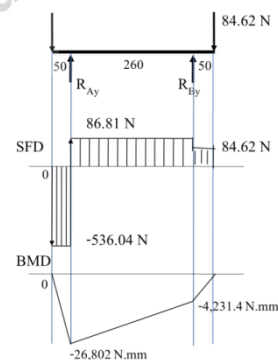
จะได้ $R_{Ay} = 622.85 \text{ N}$

$R_{By} = -2.19 \text{ N}$

$M_{Ay} = -26,802 \text{ N.mm}$

$M_{By} = -4,231.4 \text{ N.mm}$

ข) พิจารณาในแนวระดับ



จะได้ $R_{Ay} = 86.09 \text{ N}$, $R_{By} = -13.83 \text{ N}$

$M_{Ax} = -3,610 \text{ N.mm}$, $M_{Bx} = 0 \text{ N.mm}$

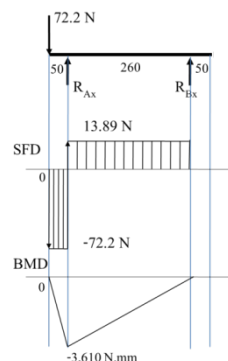
ดังนั้น $M_{max} = M_A = 27,044.03 \text{ N.mm}$

$T = 11,885.3 \text{ N.mm}$

1/2

จากสูตร $d^3 = 16 / \pi \tau_d [(c_t \cdot T)^2 + (c_m \cdot M_A)^2]$

จะได้ $d = 12.13 \text{ mm}$.



ข.1.2 พิจารณาเพลากลไกเจนีวา(2)

ก) พิจารณาในแนวตั้ง

$T_2 = 4 \times T_1 = 47,541.2 \text{ N.mm}$

จะได้ $R_{Cy} = 1,386.86 \text{ N}$, $R_{Dy} = 644.66 \text{ N}$

$M_{Cy} = 26,802 \text{ N.mm}$, $M_{Ey} = -83,804.6 \text{ N.mm}$

ข) พิจารณาในแนวระดับ

จะได้ $R_{Cx} = -86.09 \text{ N}$, $R_{Dx} = 13.89 \text{ N}$

$M_{Cy} = 3,610 \text{ N.mm}$, $M_{Ey} = 1,804.3 \text{ N.mm}$

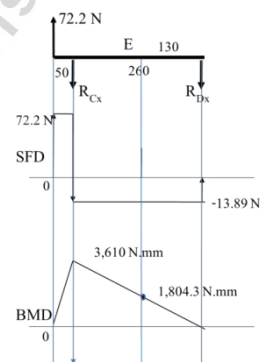
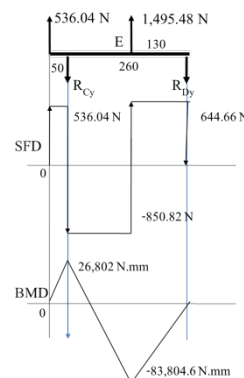
$M_E = 83,824.02 \text{ N.mm}$

$T_2 = 47,541.2 \text{ N.mm}$

1/2

จากสูตร $d^3 = 16 / \pi \tau_d [(c_t \cdot T)^2 + (c_m \cdot M_E)^2]$

จะได้ $d = 17.83 \text{ mm}$



ข.1.3 การออกแบบโซ่

ใช้ส่งกำลังจากเพลากลไกเจนีวาไปยังเพลาค้อนเหวี่ยงหัวเจาะ

ความเร็วรอบของเพลาค้อนกลไกเจนีวา, n_2 และ $n_3 = 106.19 \text{ rpm}$

ความเร็วรอบของเพลาค้อนเหวี่ยงหัวเจาะ, $n_1 = 4 \times 106.19 = 424.76 \text{ rpm}$

กำลังที่ส่งผ่าน โซ่, $W_p = 2\pi(106.19)(47.5412) / 60 = 528.67 \text{ W}$

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ = 400 mm.

และเลือกจำนวนฟันของพีเนียน, $z = 19$ ฟัน

จำนวนฟันของเฟืองโซ่, $Z = 19 \times 4 = 76$ ฟัน

กำลังที่ใช้เลือกโซ่, $P = W_p \times N_s = 528.67 \times 1.5 = 793.00 \text{ W} = 0.793 \text{ kW}$

จากแผนภูมิ 11.20 โซ่โซ่ 1 ชั้น ระยะพิทช์ 15.875 mm. ชื่อมาตรฐานโซ่คือ โซ่โรลเลอร์ ISO/R606 10A-1

จำนวนข้อโซ่, จากสูตร $x = \frac{2C}{P} + \frac{Z+z}{2} + \left(\frac{Z-z}{2\pi}\right) \cdot \frac{P}{C}$ จะได้ $x = 101.16$ ข้อ เลือก 102 ข้อโซ่

ระยะระหว่างศูนย์กลางจริง, $C = \frac{P}{4} \left(x - \frac{Z+z}{2} + \sqrt{\left(x - \frac{Z+z}{2}\right)^2 - 2\left(\frac{Z-z}{\pi}\right)^2} \right)$

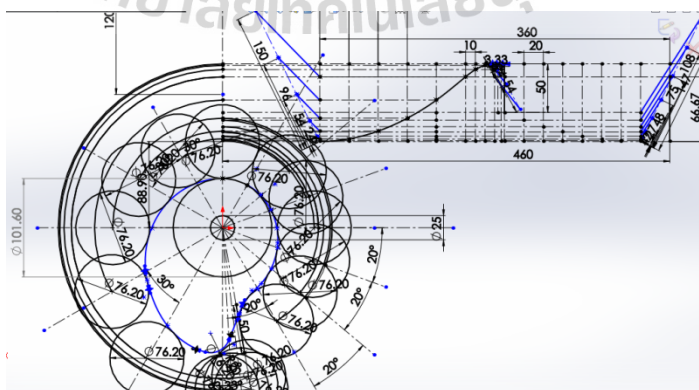
จะได้ $C = 407.12 \text{ mm}$

ข.2 การออกแบบการเจาะหลุมด้วยกลไกลูกเบี้ยว

ข.2.1 การออกแบบลูกเบี้ยว(cam design)

คำนวณหา pitch radius (R_p), จากสูตร $R_p = \frac{200(h)}{\beta} = \frac{200 \times 3.15}{180} = 3.5 \text{ in.} (88.9 \text{ mm.})$

คำนวณหา base radius (R_b), จากสูตร $R_b = R_o - R_f = 3.5 - 1.5 = 2.0 \text{ in.} (\cong 50 \text{ mm.})$



ข.2.2 การตรวจสอบการไม่เกิดยอดแหลม(undercut)

โดยการใส่ค่า L/R_0 ไปเปิดตาราง

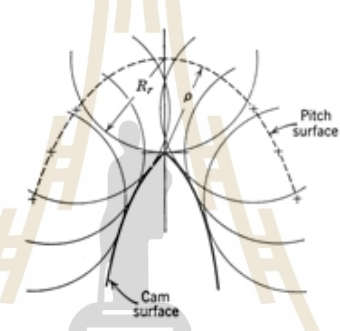
$$\text{จะได้ } \rho_{\min} = 1 \times 3.5 = 3.5 \text{ in.}$$

แต่รัศมีลูกกลิ้งเลือกไว้รัศมี 1.5 in. ซึ่งน้อยกว่า ρ_{\min} ดังนั้นจึงไม่เกิดยอดแหลม

การตรวจสอบอีกแบบหนึ่งก็คือการตรวจสอบค่ารัศมีส่วนโค้ง (radius of curvature), R_c จะต้องมีค่ามากกว่ารัศมีลูกกลิ้งของตัวตาม, R_f

$$\text{จาก } \Delta\theta = \frac{180}{120} = 1.5, \quad \alpha = \gamma_{178.5^\circ} - \gamma_{180^\circ} + \Delta\theta = 2.6226^\circ, \quad R_c = 2.934 \text{ in.}$$

ดังนั้น R_c มีค่ามากกว่ารัศมีลูกกลิ้งของตัวตาม, R_f ที่มีค่าเท่ากับ 1.5 in. ดังนั้นจึงไม่เกิดยอดแหลม



ข.2.3 การสมมูลลูกเบี้ยว

มีหลักการดังนี้:

ศูนย์ลง

1. พยายามลดมวลลูกเบี้ยว เพื่อลดพลังงานจลน์ในการหยุดลูกเบี้ยว และแรงหนีศูนย์กลาง
2. พยายามให้จุดศูนย์กลางมวลลูกเบี้ยวอยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางการหมุนมากที่สุด เพื่อลดแรงสั่นจากการไม่ได้ศูนย์

ซึ่งได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 4

ข.2.4 การคำนวณหาความเร่งของหัวเจาะ

$$\text{สูตรที่ใช้ในการคำนวณ } s = v_1 t + 0.5 a t^2, \quad s = 0.5(v_1 + v_2)t, \quad v_2 = v_1 + at,$$

$$\text{และ } v_2^2 = v_1^2 + 2as$$

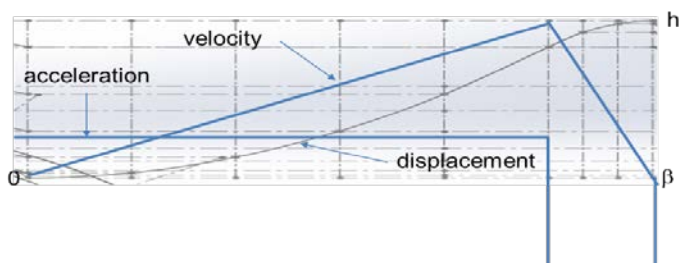
ก) ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวเจาะแบบอัตราเร่งคงที่

พิจารณาเฉพาะช่วงหัวเจาะเคลื่อนที่ลงเท่านั้น

$$\text{คำนวณช่วงอัตราเร่งคงที่จะได้ } a = 2 \times 66.667 / (0.277778)^2 =$$

$$1,728 \text{ mm/sec}^2 (1.728 \text{ m/sec}^2)$$

คำนวณช่วงอัตราเร่งที่จะได้ $a = 2 \times 13.333 / (0.055556)^2 = 8,640 \text{ mm/sec}^2 (8.640 \text{ m/sec}^2)$



จากการ derived หาสูตรได้ว่าในเทอมของ linear และ angular displacement สามารถคำนวณหาได้ดังนี้ (ช่วงอัตราเร่ง)

displacement, $y = 1.2h \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2$

velocity, $V = \frac{2.4h \left(\frac{\theta}{\beta} \right)}{T}$

acceleration, $a = \frac{2.4h}{T^2}$

ในเทอมของ linear และ angular displacement สามารถคำนวณหาได้ดังนี้ (ช่วงอัตราหน่วย)

displacement, $y = h - 6h \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)^2$

velocity, $V = \frac{12h \left[1 - \left(\frac{\theta}{\beta} \right) \right]}{T}$

acceleration, $a = -\frac{12h}{T^2}$

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 วิธีการสร้างตาราง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า K, C_v ได้ดังนี้

ในช่วงความเร่งคงที่

ในช่วงความหน่วงคงที่

$$K = 1.2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 \text{ เมื่อ มุมมีหน่วยเป็นองศา} \quad K = 1 - 6 \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)^2 \text{ เมื่อ มุมมีหน่วยเป็นองศา}$$

$$C_v = \frac{2.4\theta}{\beta} \quad C_v = 12 \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)$$

$$C_a = 2.4 \quad C_a = -12$$

ตารางภาคผนวกที่ ข.2 Constant acceleration factors

pt.	K	Cv	Ca	pt.	K	Cv	Ca	pt.	K	Cv	Ca	pt.	K	Cv	Ca
0	0.000000	0.000	2.4	30	0.075000	0.600	2.4	60	0.300000	1.200	2.4	90	0.675000	1.800	2.4
1	0.000083	0.020	2.4	31	0.080083	0.620	2.4	61	0.310083	1.220	2.4	91	0.690083	1.820	2.4
2	0.000333	0.040	2.4	32	0.085333	0.640	2.4	62	0.320333	1.240	2.4	92	0.705333	1.840	2.4
3	0.000750	0.060	2.4	33	0.090750	0.660	2.4	63	0.330750	1.260	2.4	93	0.720750	1.860	2.4
4	0.001333	0.080	2.4	34	0.096333	0.680	2.4	64	0.341333	1.280	2.4	94	0.736333	1.880	2.4
5	0.002083	0.100	2.4	35	0.102083	0.700	2.4	65	0.352083	1.300	2.4	95	0.752083	1.900	2.4
6	0.003000	0.120	2.4	36	0.108000	0.720	2.4	66	0.363000	1.320	2.4	96	0.768000	1.920	2.4
7	0.004083	0.140	2.4	37	0.114083	0.740	2.4	67	0.374083	1.340	2.4	97	0.784083	1.940	2.4
8	0.005333	0.160	2.4	38	0.120333	0.760	2.4	68	0.385333	1.360	2.4	98	0.800333	1.960	2.4
9	0.006750	0.180	2.4	39	0.126750	0.780	2.4	69	0.396750	1.380	2.4	99	0.816750	1.980	2.4
10	0.008333	0.200	2.4	40	0.133333	0.800	2.4	70	0.408333	1.400	2.4	100	0.833333	2.000	2.4
11	0.010083	0.220	2.4	41	0.140083	0.820	2.4	71	0.420083	1.420	2.4	101	0.849583	1.900	-12
12	0.012000	0.240	2.4	42	0.147000	0.840	2.4	72	0.432000	1.440	2.4	102	0.865000	1.800	-12
13	0.014083	0.260	2.4	43	0.154083	0.860	2.4	73	0.444083	1.460	2.4	103	0.879583	1.700	-12
14	0.016333	0.280	2.4	44	0.161333	0.880	2.4	74	0.456333	1.480	2.4	104	0.893333	1.600	-12
15	0.018750	0.300	2.4	45	0.168750	0.900	2.4	75	0.468750	1.500	2.4	105	0.906250	1.500	-12
16	0.021333	0.320	2.4	46	0.176333	0.920	2.4	76	0.481333	1.520	2.4	106	0.918333	1.400	-12
17	0.024083	0.340	2.4	47	0.184083	0.940	2.4	77	0.494083	1.540	2.4	107	0.929583	1.300	-12
18	0.027000	0.360	2.4	48	0.192000	0.960	2.4	78	0.507000	1.560	2.4	108	0.940000	1.200	-12
19	0.030083	0.380	2.4	49	0.200083	0.980	2.4	79	0.520083	1.580	2.4	109	0.949583	1.100	-12
20	0.033333	0.400	2.4	50	0.208333	1.000	2.4	80	0.533333	1.600	2.4	110	0.958333	1.000	-12
21	0.036750	0.420	2.4	51	0.216750	1.020	2.4	81	0.546750	1.620	2.4	111	0.966250	0.900	-12
22	0.040333	0.440	2.4	52	0.225333	1.040	2.4	82	0.560333	1.640	2.4	112	0.973333	0.800	-12
23	0.044083	0.460	2.4	53	0.234083	1.060	2.4	83	0.574083	1.660	2.4	113	0.979583	0.700	-12
24	0.048000	0.480	2.4	54	0.243000	1.080	2.4	84	0.588000	1.680	2.4	114	0.985000	0.600	-12
25	0.052083	0.500	2.4	55	0.252083	1.100	2.4	85	0.602083	1.700	2.4	115	0.989583	0.500	-12
26	0.056333	0.520	2.4	56	0.261333	1.120	2.4	86	0.616333	1.720	2.4	116	0.993333	0.400	-12
27	0.060750	0.540	2.4	57	0.270750	1.140	2.4	87	0.630750	1.740	2.4	117	0.996250	0.300	-12
28	0.065333	0.560	2.4	58	0.280333	1.160	2.4	88	0.645333	1.760	2.4	118	0.998333	0.200	-12
29	0.070083	0.580	2.4	59	0.290083	1.180	2.4	89	0.660083	1.780	2.4	119	0.999583	0.100	-12
30	0.075000	0.600	2.4	60	0.300000	1.200	2.4	90	0.675000	1.800	2.4	120	1.000000	0.000	-12

สูตรการคำนวณจากตาราง

displacement :

$$y = Kh$$

velocity:

$$V = C_v h \left(\frac{6N}{\beta} \right)$$

acceleration :

$$a = C_a h \left(\frac{6N}{\beta} \right)^2$$

pressure angle:

$$\tan \gamma = \frac{57.3 C_v h}{R_n \beta}$$

ข.2.5 การออกแบบสปริงขดรับแรงกด

สิ่งที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ วัสดุทำสปริง ASTM 230, ยุบ 85 mm., แรงกดสปริง 500 N, $C = 10$, ระยะยุบเริ่มต้น 5 mm., แรงยึดเหนี่ยวของดิน = 157 N, ความยาวอิสระของขดสปริง ต้องไม่น้อยกว่า 237 mm.

$$\text{หาค่า } K \text{ โดยใช้กราฟ หรือวิธีคำนวณก็ได้ } K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

$$\text{จะได้ } K = 1.145$$

$$\text{จากสูตร } \tau = K \frac{8FC}{\pi d^2} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{จะได้ } d = 6.2 \text{ mm. เลือกลงใช้ } d = 8 \text{ mm. และ } D = 80 \text{ mm. (} D_o = 88 \text{ mm.)}$$

$$\text{ค่าดัชนีสปริง, } k = F/\delta = 500/85 = 5.88 \text{ N/mm.}$$

$$\text{หาจำนวนขดสปริง, } n = \frac{Gd}{8kC^3} = \frac{80,000 \times 8}{8 \times 5.88 \times 10^3} = 13.61 \cong 15 \text{ ขด (} n_f = 17 \text{ ขด)}$$

ปลายขดสปริงเป็นแบบปลายตรงและเจียรระโน ดังนั้นจะได้

$$L_s = d(n + 2) = 8 \times 17 = 136 \text{ mm.}$$

$$\text{จาก } r_c = \frac{\delta_s - \delta_w}{\delta_w} \text{ จะได้ } \delta_s = 102 \text{ mm}$$

$$\text{จะได้ } L_f = L_s + \delta_s = 136 + 102 = 238 \text{ mm. เลือกลงใช้ } 250 \text{ mm.}$$

ผลจากการคำนวณจะได้แรงกดสปริงขณะทำงาน 500 N.

ข.2.6 การวิเคราะห์แรงในระบบลูกเบี้ยว

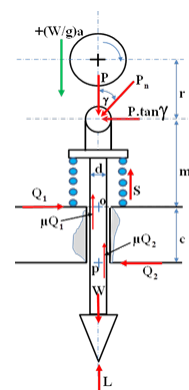
$$\text{จากรูป } \sum F_x = 0 \text{ ดังนั้น } Q_1 - Q_2 - P \tan \gamma = 0 \dots\dots(1)$$

$$\text{จากกฎของนิวตัน } \sum F_v = \pm (w/g)a$$

$$= P + W - L - S \pm (\mu Q_1 + \mu Q_2) \dots\dots(2)$$

$$P = \pm (w/g)a - W + L + S \pm (\mu Q_1 + \mu Q_2) \dots\dots(3)$$

จาก $\sum M = 0$ โดยคิดโมเมนต์รอบจุด O และ P



$$\Sigma M_o = 0 = (P \tan \gamma)mc - Q_2 \cdot c \pm \mu Q_1 \cdot d/2 \pm \mu Q_2 \cdot d/2 \dots\dots\dots(4)$$

$$\Sigma M_p = 0 = (P \tan \gamma)(mc + c) - Q_1 \cdot c \pm \mu Q_1 \cdot d/2 \pm \mu Q_2 \cdot d/2 \dots\dots(5)$$

เมื่อ P คือ แรงกดที่ผิวลูกเบี้ยวในแนวตั้ง, lbs.

W คือ น้ำหนักชุดหัวเจาะ, lbs.

L คือ แรงต้านจากดินที่หัวเจาะ, lbs.

S คือ แรงตีดกลับของสปริง, lbs.

Q คือ แรงกระทำด้านข้างของชุดนำร่องหัวเจาะ, lbs.

เนื่องจากโมเมนต์จากความฝืดมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณาดังนั้นสมการ(4) และ(5) สามารถลดรูปได้

$$(P \tan \gamma)mc - Q_2 \cdot c = 0 \dots\dots\dots(6)$$

$$(P \tan \gamma)(mc + c) - Q_1 \cdot c = 0 \dots\dots\dots(7)$$

จากสมการ(13) และ (14) จะได้

$$Q_1 = (P \tan \gamma)(m + 1) \dots\dots\dots(8)$$

$$Q_2 = (P \tan \gamma)m \dots\dots\dots(9)$$

แทนสมการ (8) และ (9) ลงในสมการ (3) จะได้

$$P = \frac{\pm \frac{W}{g} \cdot a - W + L + S}{1 \pm \mu(2m + 1) \tan \gamma} \dots\dots\dots(10)$$

จากสมการ (10) จะเห็นว่าค่า $\mu(2m+1)\tan\gamma$ เป็นผลมาจากความฝืด ดังนั้นจะพิจารณาให้ค่านี้เป็น f หรือ friction factors จะลดรูปสมการ(11) ดังนี้

จากสมการ (8) และ (9) จะได้

$$Q_1 = 1586.187 \text{ N และ } Q_2 = 987.626 \text{ N}$$

จากสูตร $P_n = P/\cos\gamma$ ที่มุม 150°

จะได้ $P_n = 1,923.6893 \text{ N}$ และ ที่มุม 175.5°

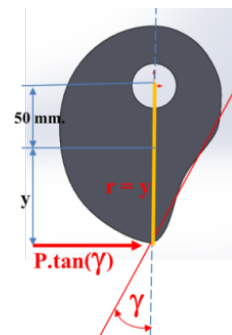
จะได้ $P_n = 2,116.035 \text{ N}$

จากสมการ(13) จะได้ $T = 69,832.14 \text{ Nmm}$

(69.83214 Nm)

หากำลังที่เพลาลูกเบี้ยวจะได้ $W = 658.15 \text{ Watt}(0.88 \text{ hp})$ เลือกวัสดุ

เพลาลูกเบี้ยว AISI C1045 จะได้ $\sigma_y = 530 \text{ N/mm}^2$ และใช้ $N = 2$



หาขนาดเพลาลูกเบี้ยวจากสูตร $\tau = \frac{16 \times T}{\pi d^3}$ จะได้ $d = 13.08 \text{ mm}$ (เลือกใช้ 1 in.)

การคำนวณหาความเค้นอัด (contact stress) ระหว่างลูกกลิ้งของตัวตามกับขอบของลูกเบี้ยวตามรูป

สมการที่ใช้พิจารณามาจาก Hertz equation ดังนี้

$$S_c^2 = \frac{0.35 P_n \left(\frac{1}{R_c \pm r_f} \pm \frac{1}{r_f} \right)}{L \left(\frac{1}{E_c} + \frac{1}{E_f} \right)}$$

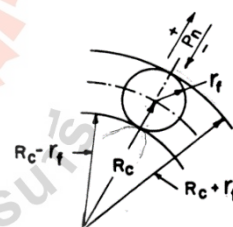


FIG. H-1

เมื่อ S_c คือ ความเค้นกด(contact stress) ที่ลูกเบี้ยวได้รับ, psi

P_n คือ แรงกดที่ตั้งฉากกับผิวลูกเบี้ยว, lbs.

R_c คือ รัศมีความโค้งของ pitch curve ลูกเบี้ยว, in.

L คือ ความหนาของลูกเบี้ยวหรือลูกกลิ้ง, in.

r_f คือ รัศมีของลูกกลิ้ง, in.

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ, psi

ซึ่งสามารถลดรูปสมการได้ดังนี้

$$S_c = (10)^3 \sqrt{\frac{P_n C}{LM}}$$

$$\text{เมื่อ } M = \frac{E_c + E_f}{0.35 E_c E_f} \times (10)^6$$

$$C = \frac{R_c}{(R_c - r_f) r_f} \quad \text{สำหรับ convex surface}$$

$$C = \frac{R_c}{(R_c + r_f) r_f} \quad \text{สำหรับ concave surface}$$

$$C = \frac{1}{r_f} \quad \text{สำหรับ flat surface}$$

$$\text{จากการคำนวณจะได้ } S_c = 59,057.08 \text{ psi} (400.89 \text{ N/mm}^2)$$

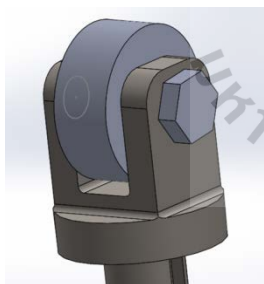
วัสดุที่เลือกใช้คือ AISI C1045 มีค่า $\sigma_y = 530 \text{ N/mm}^2$ และค่า $\sigma_c = 483.04 \text{ N/mm}^2$

คำนวณหาความหนาของลูกเบี้ยว โดยพิจารณาแรงกดบนลูกเบี้ยว จะได้

$b = 8.784 \text{ mm}$. (เลือกใช้ 20 mm)

ข.3 การออกแบบชุดหัวเจาะ

ข.3.1 การออกแบบเพลาลูกกลิ้ง



ขนาดเพลาลูกกลิ้ง 20 mm.

ลูกกลิ้งกว้าง 30 mm.

แรงกดลูกกลิ้งมากที่สุด 2128.5 N

แรงกดลูกกลิ้งน้อยสุด 438.5 N

$$K_r = K_{fs} = 0$$

ผิวเป็นแบบเจียรระไน

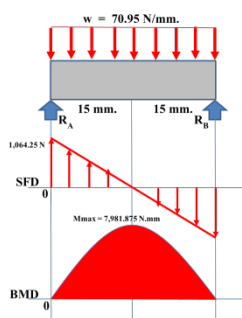
ก) การพิจารณาหาแรงบิดบนเพลาลูกกลิ้ง

ณ ตำแหน่งแรงบิดบนเพลาลูกเบี้ยวสูงสุด, $T_{\max} = 69,832.14 \text{ Nmm}$.

จะได้ $F = 598.56 \text{ N}$

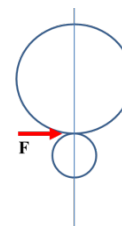
ดังนั้นจะได้แรงบิดบนเพลาลูกกลิ้งสูงสุด, $T_{\max} = 22,805.136 \text{ Nmm}$.

และแรงบิดบนเพลาลูกกลิ้งต่ำสุด, $T_{\min} = 0 \text{ Nmm}$.



$$R_A = R_B = \frac{w \times l}{2} = 1,064.25 N$$

$$M_{max} = R_A \times \frac{l}{2} - \frac{1}{8} w \times l^2 = 7,981.875 \text{ Nmm}$$



$$T_{max} = 22,805.136 \text{ Nmm}$$

$$T_{min} = 0 \text{ Nmm}$$

$$T_m = 11,402.568 \text{ Nmm}$$

$$R_A = R_B = (wl)/2 = 219.25 \text{ N}$$

$$M_{min} = 1,535.125 \text{ Nmm}, M_m = 4,758.5 \text{ Nmm},$$

$$M_a = 3,223.375 \text{ Nmm}$$

$$T_a = 11,402.568 \text{ Nmm}$$

วัสดุที่ใช้ทำเพลาคือ AISI 1015 CD

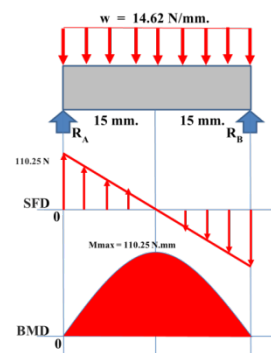
$$\text{ค่า } \sigma_y = 325 \text{ N/mm}^2, \sigma_u = 385 \text{ N/mm}^2, \sigma'_n = 192.5 \text{ N/mm}^2$$

สมมติให้เพลามีขนาด 8 mm. ถึง 50 mm. จะได้ $k_b = 0.85$ และใช้ $N = 2$

$$\text{จากสูตร } \sigma_n = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot \sigma'_n = 145.63 \text{ N/mm}^2$$

ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดจะได้ $\tau_y = 162.5 \text{ N/mm}^2$,

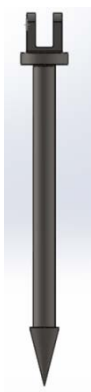
$$\tau_n = 72.815 \text{ N/mm}^2 \text{ และ } \tau_n = 72.815 \text{ N/mm}^2$$



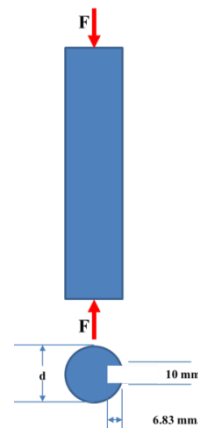
$$\text{จากสูตร } \tau = \frac{16}{\pi d^3} \left[\left(M_m + K_f \frac{\sigma_y}{\sigma_n} M_a \right)^2 + \left(T_m + K_{fs} \frac{\tau_y}{\tau_n} T_a \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{จะได้ } d = 13.44 \text{ mm (เลือกใช้ } 20 \text{ mm)}$$

ข.3.2 การออกแบบชุดหัวเจาะหลุม



แรงต้านจากดินในการเจาะหลุม, $F = 3,386.64 \text{ N}$
 พื้นที่หน้าตัดของหัวเจาะ, $A = 3,848.45 \text{ mm}^2$
 วัสดุที่ใช้ทำชุดหัวเจาะดิน AISI 1015 CD
 พิจารณารูปร่างของชุดหัวเจาะ
 จากสูตร $\sigma_c = \alpha F/A$ และสมมติให้ slenderness ratio
 มีค่าน้อยกว่า 40
 จะได้ $d = 10.65 \text{ mm}$ (เลือกใช้ $d = 40 \text{ mm}$)

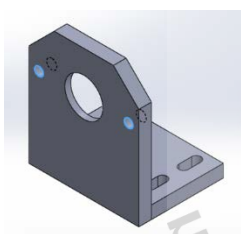


ก) พิจารณาความหนาตัวรองรับเพลาลูกกลิ้ง

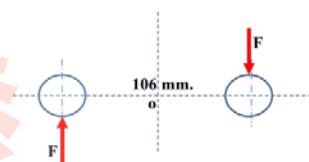


จาก $R_A = R_B = 1,064.25 \text{ N}$
 จากสูตร $\sigma_c = \alpha F/A$ (เนื่องจากเป็นตัวรองรับมีขนาดสั้นจึงให้ $\alpha = 1$)
 จะได้ $t = 0.33 \text{ mm}$
 เลือกใช้ $t = 15 \text{ mm}$. ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 45.46

ข.3.3 การออกแบบสลักเกลียวยึดมอเตอร์ไฮดรอลิก



ระยะห่างระหว่างสลักเกลียว = 106 mm.
 แรงบิดที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ไฮดรอลิก
 สูงสุดเท่ากับ, $T = 69,832.14 \text{ N.mm}$.
 จากสูตร $T = F \times d$
 จะได้ $F = 658.79 \text{ N}$

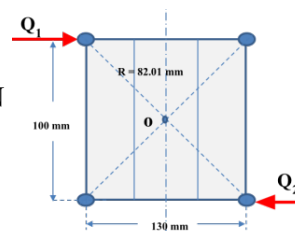


จากสูตร $\tau = F/A$ จะได้ $d = 2.93 \text{ N}$ (เลือกใช้ $d = 10 \text{ mm}$)

ข.3.4 ออกแบบสกรูยึดชุดนำร่องหัวเจาะ

จากสมการ (8) และ (9) จะได้ $Q_1 = 1,586.187285 \text{ N}$
 และ $Q_2 = 987.6260454 \text{ N}$

คำนวณหาแรงบิดได้ดังนี้ $T = (Q_1 + Q_2) \cdot c/2$
 $= 128,690.65 \text{ Nmm} (128.69 \text{ Nm})$



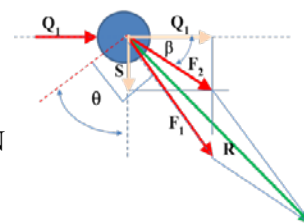
จากรูป $\theta = \tan^{-1}(65/50) = 52.43^\circ$

จาก $F_1 = (T/4)(1/r) = 392.30 \text{ N}$

รวมแรง Q_1 กับ S เข้าด้วยกันเป็นแรง $F_2 = 1,591.11 \text{ N}$

จากรูป $\beta = \tan^{-1}(S/Q_1) = 4.51^\circ$

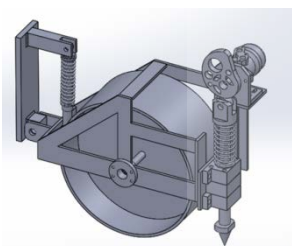
จาก $R = (F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos(\theta - \beta))^{1/2} = 1,876.74 \text{ N}$



เลือกวัสดุสกรู AISI 1015 CD จะได้ $d = \left(\frac{R}{\tau} \times \frac{4}{\pi}\right)^{1/2} = 3.50 \text{ mm}$

(เลือกใช้ 10 mm)

ข.3.5 การออกแบบเพลาล้อรองรับน้ำหนัก



สมมุติ น้ำหนักเครื่องใส่ปุ๋ยเท่ากับ

174.5 kg.

น้ำหนักปุ๋ย 50 kg.

พิจารณาออกแบบด้วยแรงเฉือนตรง

วัสดุ AISI 1010 HR

จากสูตร $\tau = F/A$ จะได้ $d = 5.1 \text{ mm}$

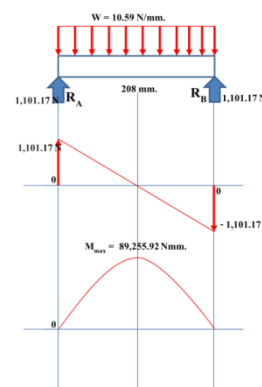
พิจารณาออกแบบด้วยแรงดัด $M_{max} = 57,250.96 \text{ Nmm}$,

$-57,250.96 \text{ Nmm}$, $M_m = 0 \text{ Nmm}$, $M_a = 57,250.96 \text{ Nmm}$, $T = 0 \text{ Nmm}$

สมมุติให้เพลามีขนาด 8 mm. ถึง 50 mm. จะได้ $k_b = 0.85$ และ $N = 2$

จากสูตร $\sigma_n = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot \sigma'_n = 122.93 \text{ N/mm}^2$

ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด จะได้ $\tau_y = 90.0 \text{ N/mm}^2$ และ $\tau_n = 61.465 \text{ N/mm}^2$

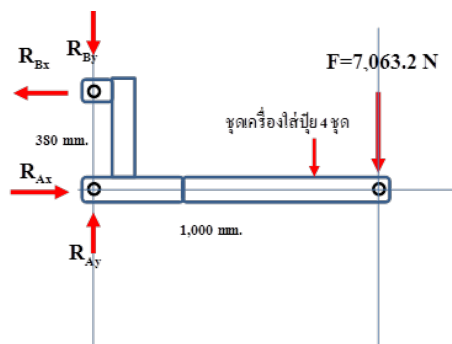
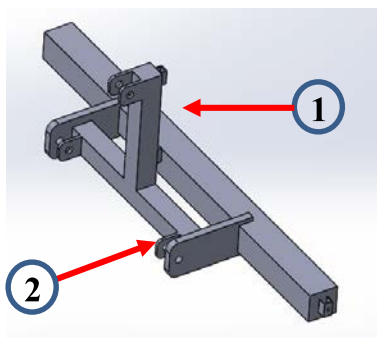


$M_{min} =$

$$\text{สูตร } \tau = \frac{16}{\pi d^3} \left[\left(M_m + K_f \frac{\sigma_y}{\sigma_n} M_a \right)^2 + \left(T_m + K_{fs} \frac{\tau_y}{\tau_n} T_a \right)^2 \right]^{1/2}$$

จะได้ $d = 21.17 \text{ mm}$ (เลือกใช้ 25 mm)

ข.4 การคำนวณชุดโครงเชื่อมต่อกับรถแทรกเตอร์



$$R_{Bx} = (7,063.2 \times 1,000)/380 = 18,587.37 \text{ N}, R_{Ax} = 18,587.37 \text{ N}$$

การคำนวณเหล็กท่อนหมายเลข 1 วัสดุที่ใช้ เหล็กทรงน้ำ C100 x 8 จำนวน 2 ท่อน

$$\text{ค่า } \sigma_y = 260 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{จากสูตร } \sigma = Mc/I = 25.64 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ดังนั้นค่าความปลอดภัย, } N = 260/25.64 = 10.14$$

การคำนวณเหล็กท่อนหมายเลข 2 วัสดุที่ใช้ เหล็กทรงน้ำ C100 x 8 จำนวน 2 ท่อน

$$\text{ค่า } \sigma_y = 260 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{แรงบิด, } T = 18,587.37 \times 380 = 7,063,200.6 \text{ N.mm}$$

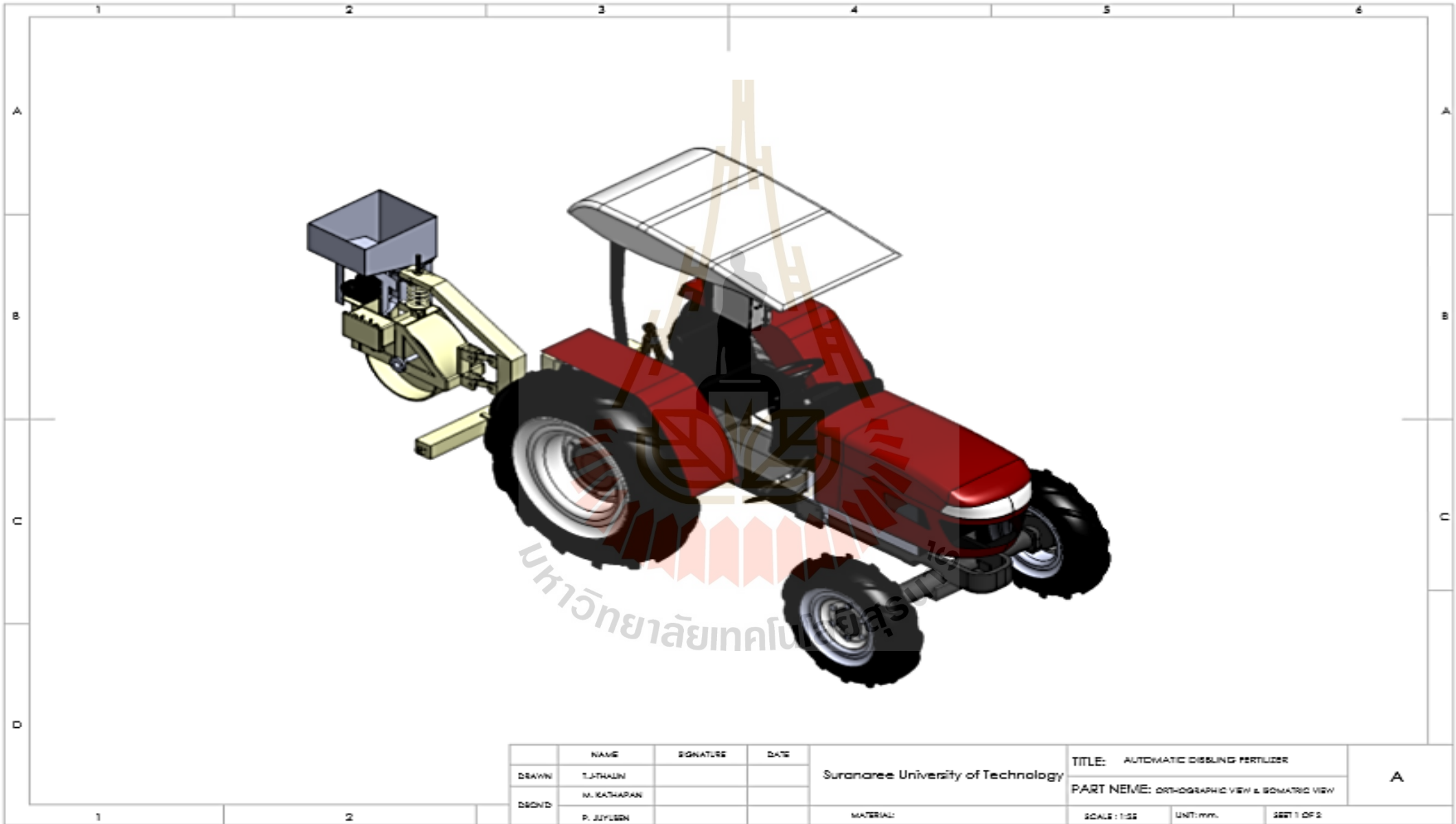
$$\text{จากสูตร } \tau = T/2t\theta = 7,063,200.6/(2 \times 4.7 \times 7,115.85) = 105.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ดังนั้นค่าความปลอดภัย, } N = 260 \times 0.6/105.6 = 1.48$$

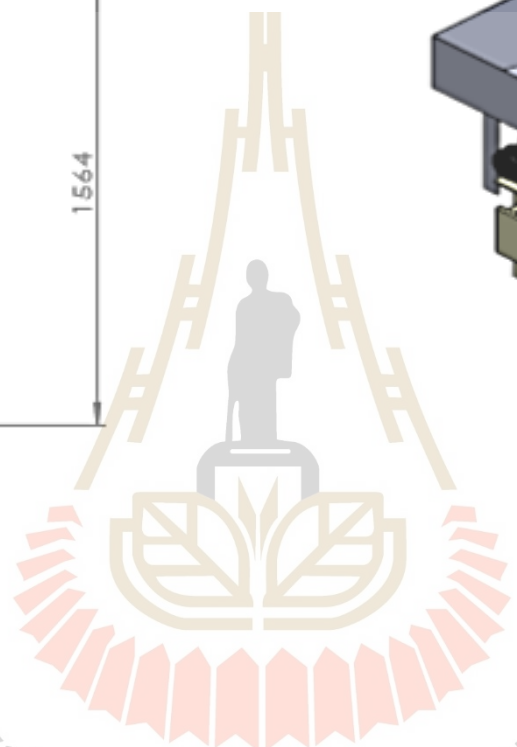
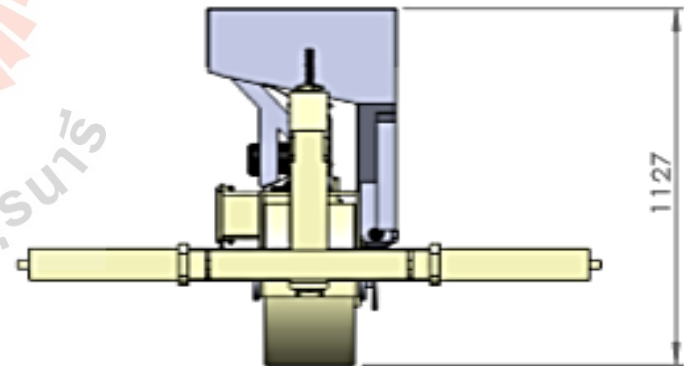
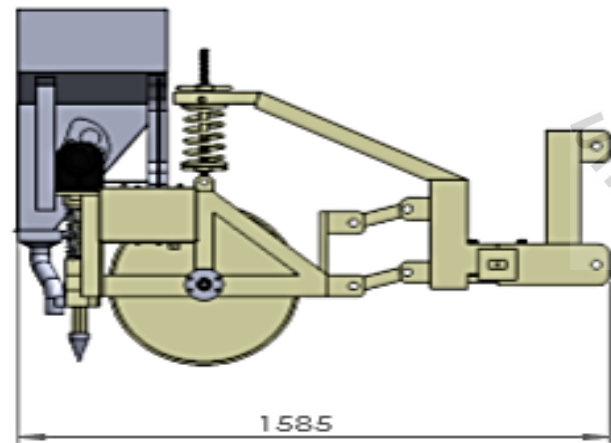
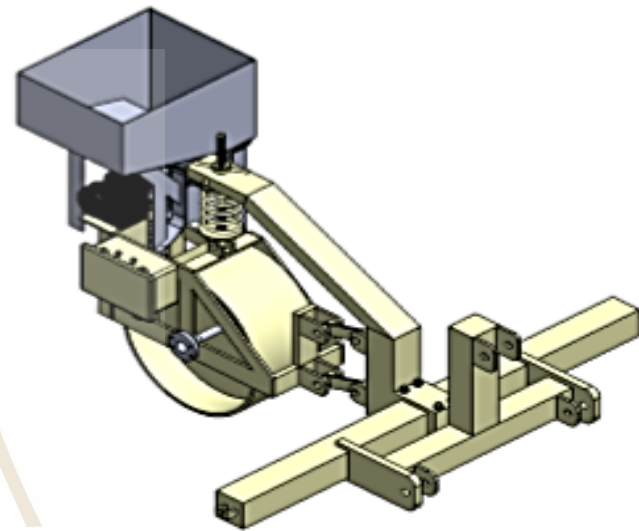
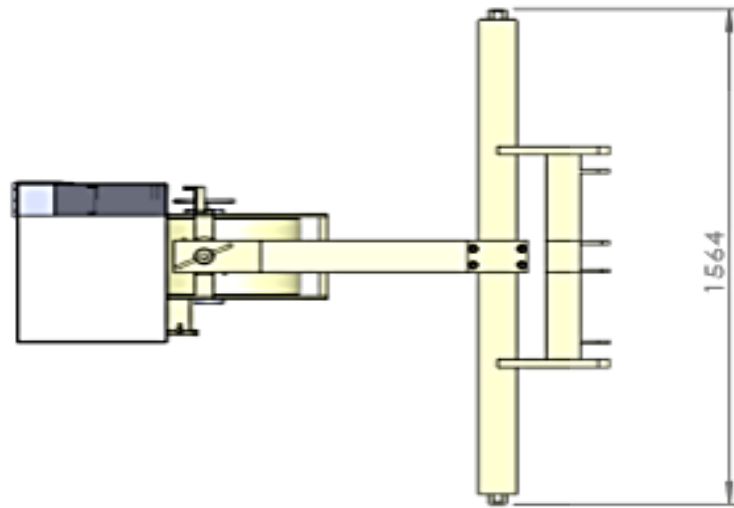
ภาคผนวก ค

แบบทางวิศวกรรมของเครื่องใส่ปุ๋ยแบบเจาะหลุมอัตโนมัติสำหรับยางพารา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



	NAME	SIGNATURE	DATE	Suranaree University of Technology		TITLE: AUTOMATIC DIBBLING FERTILIZER	A
DRAWN	T. JATHALIN					PART NAME: ORTHOGRAPHIC VIEW & ISOMETRIC VIEW	
DESIGN	M. KATHARAN						
	P. JUYEEN			MATERIAL:	SCALE: 1:100	UNIT: mm.	SHEET 1 OF 2



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	T.JITHAIIN		
DESIGN	M. KATHARAN		
	P. JUYLEEN		

Suranaree University of Technology

MATERIAL:

TITLE: AUTOMATIC DIBBLING FERTILIZER

PART NAME: ORTHOGRAPHIC VIEW & ISOMETRIC VIEW

SCALE: 1:50

UNIT: mm.

SHEET 2 OF 2



ภาคผนวก ค

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มงคล คชาพันธ์, ฉัตริน เรืองจอหอ, กมลชนน วงศ์สถาน และพยุงค์ศักดิ์ จุลยุเสณ (2561). การเพิ่มสมรรถนะการทำงานเครื่องใส่ปุ๋ยแบบหยอดหลุมอัตโนมัติสำหรับพืชสวน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19, ศูนย์ประชุมนานาชาติจุฬาลงกรณ์ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์, 26-27 เมษายน 2561 หน้า 334-337

มงคล คชาพันธ์, ฉัตริน เรืองจอหอ, กมลชนน วงศ์สถาน และพยุงค์ศักดิ์ จุลยุเสณ, (2560). การพัฒนาชุดทดลองเครื่องใส่ปุ๋ยแบบหยอดหลุมอัตโนมัติสำหรับพืชสวน. รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 4, โรงแรมวิวิธ อ.เมือง จ.ขอนแก่น, 24-25 พฤศจิกายน 2560

มงคล คชาพันธ์, พยุงค์ศักดิ์ จุลยุเสณ, จริญญาศักดิ์ สมพงษ์ และคชา วาทกิจ (2557). การออกแบบกลไกการเจาะหลุมเพื่อหยอดปุ๋ยในแปลงยางพารา. รายงานการประชุมวิชาการงานเกษตรแฟร์ นนทบุรีอีสานครั้งที่ 2 “วิชาการก้าวหน้าภูมิปัญญาแห่งลุ่มน้ำโขง”, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร, 1 ธันวาคม 2557

ประวัติผู้เขียน

นายมงคล คราพันธ์ เกิดเมื่อวันจันทร์ ที่ 19 กันยายน 2494 ที่จังหวัดเชียงใหม่ เริ่มเข้าศึกษา ระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 โรงเรียนสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำเร็จการศึกษาเมื่อการศึกษา 2518 ภายหลังสำเร็จการศึกษาเข้าทำงานเป็น อาจารย์ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา และศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำเร็จการศึกษาเมื่อการศึกษา 2531

ปัจจุบันเกษียณอายุราชการจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และทำงานเป็นอาจารย์ พิเศษให้กับวิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวันท์ ในตำแหน่งคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

