

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF CHEMICAL FERTILIZER
BROADCASTER FOR OIL PALM PLANTATION**



T117938



พ.ศ. ๒๕๕๓
๒๕๕๔

เลขหมู่.....**117938**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**22 ต.ค. 2554**

b.....**12349240**
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL 2011-EN-M-217-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF CHEMICAL FERTILIZER
BROADCASTER FOR OIL PALM PLANTATION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2011
KMITL-2011-EN-M-217-004**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีสำหรับสวนปาล์ม น้ำมัน
นักศึกษา	นายสัญญาลักษณ์ กิ่งทอง
รหัสนักศึกษา	49061805
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลีมนรัตน์

บทคัดย่อ

เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมัน จะใช้แม่ปุ๋ยเคมี 5 ชนิด (ยูเรีย, ไคเอมโมเนียมฟอสเฟต, โปแตส, ทีเซอร์ไรต์ และโบรอน) ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน เครื่องหว่านปุ๋ยจะช่วยลดต้นทุนการใช้ปุ๋ย และสามารถปรับเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับต้นปาล์มน้ำมันได้ ส่วนประกอบหลักของเครื่องหว่านปุ๋ยประกอบด้วย 1.ถังบรรจุปุ๋ยทั้ง 5 ชนิดโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน 2.อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยทั้ง 4 ช่อง 3.อุปกรณ์จ่ายปุ๋ยที่ใช้ ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานมี 2 แบบ คือชุดหว่านปุ๋ยแบบจานเหวี่ยง และชุดหว่านปุ๋ยแบบลำเลียงด้วยลม แม่ปุ๋ยทั้ง 5 ชนิด จะไหลผ่านอุปกรณ์กำหนดปริมาณแบบลูกหยอดตรงตรง ที่ สามารถปรับอัตราการไหลได้ทั้ง 4 ตัว เพื่อลำเลียงปุ๋ยลงสู่อุปกรณ์หว่านปุ๋ยเคมีลงพื้นดิน หลังจากผ่านขั้นตอนการพัฒนาและทดสอบจึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาการทำงานที่เหมาะสม พบว่าในชุดหว่านปุ๋ยแบบจานเหวี่ยง จุดปล่อยปุ๋ยลงบนจานเหวี่ยงจะห่างจากจุดศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร และอยู่ในตำแหน่งมุมของจานเหวี่ยงที่ 150 องศาจากกึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ สำหรับชุดหว่านปุ๋ยเคมีแบบลำเลียงด้วยลมต้องมีการปรับปลายท่อทางออกเอียงขึ้น 30°จากระดับพื้นดิน และใช้หัวพ่นเป็นท่อตรง ซึ่งจะสามารถหว่านปุ๋ยเคมีได้มีสมรรถนะมากที่สุด การทดสอบภาคสนามความเร็วรถแทรกเตอร์ทางตรง 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความสามารถในการทำงาน 25 ไร่ต่อชั่วโมง หรือ 16.5 เท่าของความสามารถของมนุษย์

Thesis	Design and Development of Chemical Fertilizer Broadcaster for Oil Palm Plantation
Student	Mr. Sanyaluck Kingthong
Student ID.	49061805
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Pornsak Attavanich
Co- Thesis Advisor	Asst. Prof.Dr.Sunpasit Limnararat

ABSTRACT

The chemical fertilizer applicator for an oil palm plantation was developed for applying the 5 primary fertilizers that include urea, di-ammonium phosphate, potash, kieserite, and boron, which are important to an oil palm growth. Furthermore, the applicator not only helps decrease chemical applying cost but it improves soil structure that results in more nutrients for a palm tree as well. The major components compose of (1) a storage hopper with 4 compartments containing 5 primary fertilizers (2) a metering device attached to each compartment (3) the distributing unit designed in two different types : one is the centrifugal disk distributor and the other is the pneumatic distributor, and their performance have been investigated and compared. The adjustable flow of 5 primary fertilizers that passed through 4 metering devices were delivered by the discharge flume until they fell into the distributing unit which later spreaded them out onto the ground beneath. When the development process has been advancing, the test program were conducted regularly and the data concerned including fertilizer pattern and density of distribution were recorded and analyzed. Consequently, the search for optimal mechanism was achieved. In case of operating with the centrifugal disk distributor, the release point was found as much as 6.5 cm from the disk center with discharge angle of 150° with respect to perpendicular of travel direction. On the other hand, the pneumatic distributor with medium-sized diffuser gave best performance when the branch tube was adjusted to rise by 30° with respect to antal level. During the test in field, the prototype operated at forward speed of 5 km/hr and gave a capacity of 25 rai/hr (1rai is 1600 m^2) which was 16.5 times of the human capacity.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิมพ์แล้ว ยังไม่ได้ทำปก

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช และผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลีมนรรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้
ควบคุมวิทยานิพนธ์ คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ รศ.จิราภรณ์ เบลูจประภากรรัตน์ อาจารย์รัชชัช เย็นพยับ พี่พงษ์ศักดิ์ ที่ให้คำแนะนำ
ต่างๆ น้อยๆ และนักศึกษาทุกคนที่คอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์รวมทั้งคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือด้าน
เอกสารและคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาด้วยดีตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง ในความ
เมตตาและความอนุเคราะห์จากทุกๆ ท่านเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และ
ให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและ
ประโยชน์อันพึงได้มาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

สัญญาลักษณ์ กิ่งทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องที่พัฒนาขึ้นใหม่และที่มีขายอยู่ในท้องตลาด.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ความเป็นมา ลักษณะทั่วไป และการจัดการปาล์มน้ำมัน.....	5
2.1 ความรู้เบื้องต้นของปาล์มน้ำมัน.....	5
2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของปาล์มน้ำมัน.....	10
2.2.1 ระบบรากของต้นปาล์มน้ำมัน.....	10
2.3 การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน.....	12
2.3.1 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน.....	13
2.3.2 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน ในกรณีที่เกิดปัญหารุนแรง.....	14
2.3.3 ปริมาณการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ.....	16
2.3.3.1 คำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร.....	16
2.3.3.2 คำแนะนำของสถาบัน โพลเทสและสถาบัน โพลเทสนานาชาติ.....	18
2.3.3.3 ข้อมูลการใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมันจากงานวิจัย.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 ระยะเวลาในการใส่ปุ๋ย.....	20
2.3.5 วิธีการใส่ปุ๋ย.....	21
2.3.6 ข้อเสนอแนะในการให้ปุ๋ยปาล์ม.....	21
2.4 หลักการเบื้องต้นของเครื่องหว่านปุ๋ย.....	22
2.4.1 เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้ในการใส่ปุ๋ย.....	22
2.4.2 ชนิดของเครื่องใส่ปุ๋ย.....	22
2.4.3 เครื่องหว่านปุ๋ย (Fertilizer Broadcaster).....	23
2.4.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องหว่านกระจายปุ๋ย.....	23
2.4.5 หลักการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย.....	23
2.4.6 เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีที่มีขายในท้องตลาด.....	24
2.5 การสำรวจโรงงานผลิตเครื่องหว่านปุ๋ยมูลสัตว์.....	25
2.6 เครื่องใส่ปุ๋ยในสวนยางพารา.....	26
2.7 ทฤษฎีการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่องหว่าน.....	27
2.7.1 หลักการออกแบบถังบรรจุ (Hopper).....	27
2.7.2 ทฤษฎีงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	29
2.7.3 หลักการลำเลียงวัสดุด้วยลม (Pneumatic Conveyor).....	31
2.8 หลักการทดสอบประสิทธิภาพการหว่าน.....	37
2.8.1 เครื่องหว่านวัสดุที่เป็นเม็ด.....	37
2.8.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ.....	37
2.8.3 แนวทางในการเตรียมการทดสอบ.....	38
2.8.4 หลักการหาสมรรถนะของเครื่องจักรกลเกษตร (Field Capacity).....	38
2.8.4.1 สมรรถนะเชิงพื้นที่ (Field Capacity).....	38
2.8.4.2 ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่.....	38
2.8.4.3 ในกรณีของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ปฏิบัติงานตามปกติ.....	38
2.8.4.4 ประสิทธิภาพในการทำงาน (Field efficiency).....	39
2.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำเครื่องจักรกลเกษตรไปใช้งาน.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี.....	44
3.1 การคำนวณหาปริมาณปุ๋ยที่ใช้.....	46
3.2 การออกแบบถังบรรจุ (Hopper).....	47
3.3 ตัวค้ำปุ๋ย (Agitator).....	48
3.4 อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย(Metering device).....	49
3.5 อุปกรณ์หว่านปุ๋ยเคมี(Fertilizer Broadcaster).....	50
3.5.1 แบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Disc).....	50
3.5.2 แบบใช้ลม(Pneumatic Conveyor).....	52
3.6 ระบบถ่ายเทอดกำลังและรถเทเลสเตอร์.....	54
บทที่ 4 การหาค่าสมรรถนะของระบบ.....	56
4.1 อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device).....	56
4.1.1 ขั้นตอนการทดลองอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย.....	56
4.2 อุปกรณ์หว่านปุ๋ยแบบจาน.....	60
4.2.1 การทดลองหาการกระจายตัวของเม็ดปุ๋ย.....	60
4.3 อุปกรณ์หว่านปุ๋ยแบบลม.....	68
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 หลักการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี.....	75
5.2 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี.....	76
5.2.1 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	76
5.2.2 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบระบบลำเลียงด้วยลม.....	76
5.3 ข้อเสนอแนะในการใช้งานเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี.....	77
5.4 การเปรียบเทียบเพื่อหาค่าคุ้มค่าในการนำเครื่องหว่านปุ๋ยไปใช้งาน.....	77
5.4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านแรงงาน.....	77
5.4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนของเครื่องหว่านปุ๋ย.....	79
5.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	81
5.6 ข้อเสนอเพิ่มเติมในวิทยานิพนธ์.....	85

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	86
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก. การคำนวณ.....	89
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบ.....	100
ประวัติผู้เขียน.....	137



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระยะปลูกของต้นปาล์ม.....	12
2.2 ตารางธาตุอาหารสะสมในช่วงการเจริญเติบโต 9 ปี.....	13
2.3 การใส่ปุ๋ยผสมหรือปุ๋ยสูตรตามอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน.....	16
2.4 การใส่ปุ๋ยเดี่ยว (N, P หรือ K) ตามอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน.....	17
2.5 การใส่ปุ๋ยคีเซอไรต์และโบแรกซ์ตามอายุพืช.....	17
2.6 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 1 – 3 ปี.....	18
2.7 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มที่โตเต็มที่แล้ว (อายุ 4 – 8 ปี).....	19
2.8 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มที่มีอายุ 9 ปี หรือมากกว่า (กก./ต้น/ปี).....	19
2.9 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มแก่.....	20
2.10 ข้อมูลการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มที่มีอายุ 5- 9 ปี.....	20
2.11 แสดงค่า Fitting loss coefficient.....	35
2.12 แสดง Pressure drop.....	36
3.1 ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มโตเต็มวัย.....	46
3.2 แสดงผลการคำนวณปริมาณปุ๋ยที่ใช้เวลา 1 นาที.....	46
3.3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดปุ๋ย.....	47
3.4 ผลการคำนวณออกแบบงานห้วยียงโดยแสดงตัวแปร θ , v_{tr} , β , t , h	51
3.5 แสดงคุณสมบัติของโบลว์เวอร์แต่ละรุ่น.....	53
3.6 แสดงผลจากการคำนวณในภาคผนวก.....	54
4.1 อัตราการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี.....	59
4.2 สัมประสิทธิ์การกระจายตัว.....	66
4.3 สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของปุ๋ยจากการแปรผันระยะตกตามแนวรัศมี.....	65
4.4 ผลการทดลองตัวเปล่า.....	68
4.5 ผลการทดลองปุ๋ยแต่ละชนิด.....	69
5.1 แสดงระยะเวลาคืนทุน.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะราก ลำต้น และใบปาล์มน้ำมัน.....	11
2.2 รากปาล์มน้ำมันที่ดูดซับธาตุอาหาร.....	11
2.3 ลักษณะการจัดผังแบบสลับพื้นปลา.....	13
2.4 ลักษณะการขาดไนโตรเจน.....	14
2.5 ลักษณะการขาดโพแทสเซียม.....	14
2.6 ลักษณะการขาดแมกนีเซียม.....	15
2.7 ลักษณะการขาดโบรอน.....	15
2.8 ลักษณะแถบใบขาว.....	16
2.9 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบท่อเหวี่ยง.....	24
2.10 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบ MAGNUM 550.....	24
2.11 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบ 503 VB.....	25
2.12 การไหลของวัสดุเมื่อออกจากถัง.....	27
2.13 การไหลกับความเสียดทานของวัสดุกับผนังและมุมเอียงของถังบรรจุ.....	28
2.14 อุปกรณ์สำหรับหามุมกองของวัสดุ.....	28
2.15 ลักษณะงานเหวี่ยงตามทฤษฎี.....	29
2.16 การเคลื่อนที่ของอนุภาค.....	32
2.17 ความดันสูญเสียเปรียบเทียบกับความเร็วของกระแสอากาศ.....	33
2.18 แสดงผลอัตราเร็วเฉลี่ยปริมาณลมที่ความดันต่ำในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม.....	37
2.19 การทดสอบรูปแบบการกระจายตัวของเม็ดวัสดุ.....	38
3.1 เครื่องหว่านปุ๋ยที่ออกแบบ.....	44
3.2 ลักษณะของเคมีทัง 5 ชนิด.....	45
3.3 ถังบรรจุ(Hopper)ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่.....	48
3.4 ตัวคีย์ปุ๋ย (Agitator).....	48
3.5 (ก.) อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย.....	49
3.5 (ข.) อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยที่ได้ออกแบบ.....	49
3.5 (ค.) อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยที่สร้างขึ้นใหม่.....	50
3.6 ลักษณะงานเหวี่ยงที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่.....	50
3.7 ลักษณะของงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ได้สร้างขึ้นใหม่.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 รูป โบลเวอร์ รุ่น MB 50	52
3.9 แสดงลักษณะของท่อที่ออกแบบ.....	53
3.10 Gear box	54
3.11 รถทดสอบที่นำมาใช้ทดสอบ.....	55
4.1 การหาความสัมพันธ์ช่องเปิดกับความเร็วรอบและปริมาณปุ๋ย.....	57
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ยยูเรีย.....	57
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ย DAP.....	58
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ย KCL.....	58
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ย Bo + Mg.....	59
4.6 แสดงการทดลองหามุม θ	60
4.7 แสดงการทดลองบนลานปูน	61
4.8 การเตรียมพื้นที่เพื่อศึกษาการกระจายของปุ๋ย.....	61
4.9 แสดงผังก่อนการทดสอบ.....	62
4.10 แสดงทิศทางของเมล็ดปุ๋ยที่ออกจากเครื่องหว่านปุ๋ยที่มุม 0°	62
4.11 แสดงทิศทางของเมล็ดปุ๋ยที่ออกจากเครื่องหว่านปุ๋ยที่มุม 90°	63
4.12 แสดงทิศทางของเมล็ดปุ๋ยที่ออกจากเครื่องหว่านปุ๋ยที่มุม 180°	63
4.13 แสดงทิศทางของเมล็ดปุ๋ยที่ออกจากเครื่องหว่านปุ๋ยที่มุม 270°	64
4.14 การกระจายตัวที่มุม 90 องศา.....	64
4.15 การกระจายตัวที่มุม 120 องศา.....	65
4.16 การกระจายตัวที่มุม 150 องศา.....	65
4.17 การกระจายตัวที่มุม 180 องศา.....	66
4.18 แสดงตำแหน่งของจุดปล่อยปุ๋ย	67
4.19 ลักษณะของงานเหวี่ยงและจุดปล่อยปุ๋ย	67
4.20 ลักษณะการกระจายตัวของท่อแบบปากกลด.....	69
4.21 ลักษณะการกระจายตัวของท่อแบบปากขยาย.....	70
4.22 ลักษณะการกระจายตัวของท่อแบบปากตรง.....	70
4.23 แสดงลักษณะการปรับมุมเอียงของท่อส่งปุ๋ย.....	71
4.24 แสดงผลการกระจายตัวของปุ๋ยเคมีใช้ท่อปากตรงที่มุม 15 องศา.....	71
4.25 แสดงผลการกระจายตัวของปุ๋ยเคมีใช้ท่อปากตรงที่มุม 20 องศา.....	72
4.26 แสดงผลการกระจายตัวของปุ๋ยเคมีใช้ท่อปากตรงที่มุม 25 องศา.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 แสดงผลการกระจายตัวของปุ๋ยเคมีใช้ท่อปากตรงที่มุม 30 องศา.....	73
4.28 แสดงผลการกระจายตัวของปุ๋ยเคมีใช้ท่อปากตรงที่มุม 35 องศา.....	73
5.1 เครื่องหว่านปุ๋ยเคมี.....	74
5.2 การหาจุดคุ้มทุน.....	81
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการไถงานกับพื้นที่การทำงานต่อปี.....	82



บทที่ 1

บทนำ

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญ ในธุรกิจน้ำมันพืชเพื่อการบริโภค และเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกหลายอุตสาหกรรม เช่น สบู่ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป นมข้นหวาน เนยเทียม ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันยังจะมีบทบาทสำคัญในการใช้ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีการคาดว่าจะจะเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันในอนาคต ปัจจุบันกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้ร่วมมือกับจังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันที่สำคัญ ในการกำหนดแผน ยุทธศาสตร์ของจังหวัดที่จะเข้าไปส่งเสริมให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันพันธุ์ดีมากขึ้น เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพดีเพียงพอกับการผลิต ไบโอดีเซล โดยการส่งเสริมปลูกปาล์มพันธุ์ดีแทนในสวนยางเก่า และสวนปาล์มอายุมาก รวมทั้งที่นารกร้าง นอกจากนี้ยังเน้นส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตและการเก็บเกี่ยว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันจากต้นปาล์มน้ำมันให้สูงขึ้น และสามารถรองรับการขยายตัวของความต้องการใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคต

สมชาติ สถิตสุ้ยสุขเสนาะ รองอธิบดีกรมโรงงาน อุตสาหกรรม (กรอ.) กล่าวว่า ปัจจุบันรัฐบาลมียุทธศาสตร์อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันปี 2547-2572 เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์มเคียงคู่ผู้นำในระดับโลกอย่างมาเลเซียและอินโดนีเซีย รวมทั้งนโยบายกำหนดให้ปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนของประเทศ ตั้งเป้าขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันให้ได้ 10 ล้านไร่ในปี 2572 โดยจะปลูกเพิ่มปีละ 400,000 ไร่ แบ่งระยะเวลาดำเนินการเป็น 5 ระยะๆละ 5 ปี ในช่วง 5 ปีแรกตั้งเป้าขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศจาก 2.04 ล้านไร่ในปี 2547 เป็น 3.67 ล้านไร่ในปี 2552 โดยคาดการณ์ผลปาล์มสดเพิ่มขึ้นเป็น 6.54 ล้านตันหรือคิดเป็นน้ำมันปาล์มดิบ 1.18 ล้านตัน โดยจะดำเนินการส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันพันธุ์ดีในเขตนาร้าง 0.888 ล้านไร่ ไร่ร้าง 0.156 ล้านไร่ และปลูกปาล์มน้ำมันแทนยางพาราในเขตที่ไม่เหมาะสมในการปลูกยางพารา 0.462 ล้านไร่ และจะเร่งรัดพัฒนาสวนปาล์มน้ำมันเดิมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการสนับสนุนให้เกิดอุตสาหกรรมการแปรรูปอย่างง่าย เป็นการแปรรูปที่มีมูลค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อทดแทนพลังงานที่มีราคาแพงในขณะนี้ (และในอนาคต) นอกจากนี้ มี การจัดตั้งคณะกรรมการปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มแห่งชาติ เพื่อกำกับดูแลการปลูกปาล์มน้ำมันและการผลิตน้ำมันปาล์มแบบครบวงจร รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งเมืองปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นศูนย์กลางของอุตสาหกรรมทั้งระบบ

นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการกำหนดยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ ซึ่งรัฐบาล โดยกระทรวงพลังงานมีเป้าหมายให้ใช้ไบโอดีเซลร้อยละ 3 ของการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมดหรือ วันละ 2.4 ล้านลิตรในปี 2554 โดยกลุ่มเป้าหมายที่รัฐบาลจะส่งเสริมให้ใช้ไบโอดีเซลในร้อยละ 2 ของปริมาณ การใช้น้ำมันดีเซลในกลุ่มเป้าหมายแรก คือกลุ่มรถบรรทุกโดยกำหนดให้ผสมไบโอดีเซลร้อยละ 2 ซึ่ง คิดเป็นปริมาณน้ำมันปาล์มประมาณวันละ 1.6 ล้านลิตร โดยจะบังคับใช้ในพื้นที่เฉพาะในปี 2549-2553 จากนั้นในปี 2554 เป็นต้นไปจะบังคับใช้ทั่วประเทศ

ปัจจุบันนี้ปัญหาในการผลิตไบโอดีเซลคือวัตถุดิบ (ผลผลิตปาล์มน้ำมัน) มีไม่เพียงพอเพราะทั้ง ระบบต้องใช้พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันถึง 7 ล้านไร่ จากที่มีอยู่ปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 2 ล้านไร่ เป็นปัญหาที่ สำคัญมาก ดังนั้นกลยุทธ์การขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญมาก ในการผลักดัน โครงการไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

จากการศึกษาขั้นตอนการปลูกและดูแลรักษาสวนปาล์มน้ำมัน ทำให้ทราบถึงธรรมชาติของ ปาล์มน้ำมันว่าเป็นพืชที่ต้องการปุ๋ยมากชนิดหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้จากค่าใช้จ่ายที่สูงมากในส่วนของ การให้ปุ๋ยในสวนปาล์ม ที่มีการจัดการสวนอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ยให้ถูกต้อง เหมาะสมจะทำให้ ลดค่าใช้จ่าย รวมไปถึงสามารถเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมันได้อีกด้วยและยังเป็นการใช้ พื้นที่ ในการผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้เห็น ได้ถึงความสำคัญของขั้นตอนการให้ปุ๋ยกับปาล์ม น้ำมันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พื้นที่ให้คุ้มค่า ประกอบกับยุทธศาสตร์การขยายพื้นที่ปลูกปาล์ม น้ำมันเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ทำให้เห็นถึงความสำคัญของการนำเครื่องจักรกลทางการ เกษตรมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้ปุ๋ยปาล์มน้ำมัน เพราะการใช้เครื่องจักรกลมาทดแทนจะ ช่วยให้ คุณภาพในขั้น ขั้นตอนการให้ปุ๋ยดียิ่งขึ้นและมีความสม่ำเสมอทั่วถึง แล้วยังทำให้การทำงานใน ขั้นตอนที่ให้ปุ๋ยได้รวดเร็วสะดวกสบายยิ่งขึ้น ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี สำหรับปาล์มน้ำมัน จึงมีความสำคัญมากในการช่วยเพิ่มผลผลิตและทำให้ได้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพ ทั้ง ยังช่วยให้ผลผลิตออกตรงตามความต้องการของตลาด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมันแบบต่อพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 40 แรงม้า โดยใช้ต้นกำลังจากเพลอาอานวยกำลัง การพัฒนากลไกการหว่านปุ๋ยเคมีสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีนี้ต้องสามารถหว่านปุ๋ยเคมีตามความต้องการคือหว่านได้ ครั้งละ 5 ชนิดพร้อมกัน เกษตรกรต้องสามารถปรับอัตราและปริมาณการให้ปุ๋ยแต่ละชนิดได้ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุ จากแนวคิดดังกล่าวจะช่วยให้เกษตรกรหว่านปุ๋ยได้เร็วขึ้น และสามารถขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันให้ทันกับความต้องการทางด้านอุตสาหกรรม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการปุ๋ยเคมีมากเพื่อนำไปบำรุงต้น ปุ๋ยหลัก ๆ ที่ปาล์มน้ำมันต้องการมี 5 ชนิด แต่เครื่องหว่านปุ๋ยที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถหว่านปุ๋ยได้ครั้งละชนิด ทำให้ต้องหว่านหลายเที่ยว ซึ่งการวิ่งรถหลายเที่ยวจะเป็นการรบกวนระบบรากของปาล์มน้ำมัน เครื่องหว่านปุ๋ยในท้องตลาดยังมีราคาสูงและไม่สามารถปรับอัตราการจ่ายปุ๋ยเคมีให้เหมาะสมกับความต้องการของปาล์มน้ำมันได้ แต่เครื่องที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้จะสามารถหว่านปุ๋ยทั้ง 5 ชนิดพร้อมกันและยังสามารถปรับแต่งปริมาณการหว่านปุ๋ยแต่ละชนิดได้ตามความต้องการของพืชในเวลาต่างๆ เพื่อการใช้ปุ๋ยเคมีให้มีประโยชน์สูงสุด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีโดยทั่วไป จะแบ่งอุปกรณ์ที่สำคัญเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ถังบรรจุ อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย อุปกรณ์ที่ใช้ในการกระจายปุ๋ยเคมีจะมีอยู่ 2 แบบคือแบบจานเหวี่ยง และแบบใช้ลมในการกระจายปุ๋ยเคมี ในส่วนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้ศึกษาแนวทางและทฤษฎีต่างๆ เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีทั้ง 2 แบบ โดยจะพยายามเลือกวัสดุที่หาได้ง่ายเพื่อสะดวกในการที่เกษตรกรจะนำไปสร้าง พร้อมทั้งมีการประเมินเพื่อหาสมรรถนะเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับสวนปาล์มน้ำมัน

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องที่พัฒนาขึ้นมาใหม่และที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

การเปรียบเทียบศักยภาพการใช้งานของเครื่องหว่านปุ๋ยที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาใหม่ กับเครื่องหว่านปุ๋ยในท้องตลาด โดยได้พิจารณาในหลายๆด้าน ได้แก่ ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักร การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ลักษณะการใช้งาน ความได้เปรียบของเครื่องหว่านปุ๋ยที่ศึกษา เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมกับลักษณะการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีและขั้นตอนการออกแบบ เพื่อนำมาพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี ศึกษากลไกแต่ละชิ้นส่วนของเครื่อง การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม จนสามารถสร้างเครื่องต้นแบบโดยใช้อุปกรณ์ในการหว่านปุ๋ยเคมีเป็นงานวิจัยขั้นต้นศูนย์กลางและลม แล้วจึงดำเนินการศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASAE S341.2 สุดท้ายจึงได้วิเคราะห์เปรียบเทียบศักยภาพและความเหมาะสมของเครื่องที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่กับเครื่องที่มีใช้ในท้องตลาด

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และพื้นฐานของการสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนการสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีทั้งสองแบบ

บทที่ 4 กล่าวถึงการหาค่าสมรรถนะของเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี

บทที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบตามหลักเศรษฐศาสตร์และบทสรุปของผลการวิจัยพร้อมทั้ง

ข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ความเป็นมา ลักษณะทั่วไป และการจัดการปาล์มน้ำมัน

2.1 ความรู้เบื้องต้นของปาล์มน้ำมัน

จากหนังสือคู่มือปาล์มน้ำมันและการจัดการสวนของ วีระ เอกสมทราเมษฐ์และคณะ (2546) ได้กล่าวไว้ว่าสำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในแถบประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในระยะเริ่มต้น มีกำเนิดมาจากต้นปาล์มดูราเพียง 4 ต้น ที่ปลูกในสวนพฤกษชาติโบเกอร์ (Bogor botanical garden) เมื่อปี พ.ศ. 2391 หลังจากนั้นได้มีการคัดเลือกสายพันธุ์และนำไปปลูกที่เมืองเดลี ประเทศอินโดนีเซีย และมีการนำเข้าไปปลูกในประเทศมาเลเซียในเวลาต่อมา ซึ่งรู้จักกันในชื่อพันธุ์เดลีดูรา ซึ่งมีการปลูกอย่างกว้างขวางในยุคต้นๆของการปลูกปาล์มน้ำมันเชิงการค้าในประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย โดยสายพันธุ์ปลูกต่าง ๆ ได้รับการพัฒนามาจากการผสมระหว่าง ดูรา X ดูรา ภายหลังจากที่มีการค้นพบว่าความหนาของกะลาในผลปาล์มถูกควบคุมด้วยยีนเพียงคู่เดียว และสามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรม ในปี พ.ศ. 2484 ได้มีการพัฒนาพันธุ์ปลูกปาล์มน้ำมันจากการผสมระหว่าง ดูรา X เนเทอร์รา (ระหว่างปี พ.ศ. 2484 - 2503) และสุดท้ายพันธุ์ปลูกที่ใช้กันได้เปลี่ยนมาเป็นพันธุ์ลูกผสมแบบเทเนอราซึ่งเกิดจากการผสมระหว่าง ดูรา X ฟิลิเฟอรา เกือบทั้งหมด (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 เป็นต้นมา) เนื่องจากให้ผลผลิตน้ำมันสูงกว่าการผสมแบบอื่น ๆ ในอดีต สำหรับประเทศไทยได้เริ่มมีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้าในปี พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดสตูล โดยมีพื้นที่ปลูกเพียง 1,600 ไร่ และมีการขยายตัวของพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 เป็นต้นมา ในปี พ.ศ. 2544 มีพื้นที่ปลูกรวมทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 1.8 ล้านไร่

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันที่ปลูกได้ดีในประเทศแถบร้อนชื้นที่อยู่ในช่วงเส้นละติจูด 2 องศาเหนือ-ใต้ เป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ จึงทำให้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมกับ สภาพอากาศที่ร้อนชื้นบริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศไทยบริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง โดยจังหวัดกระบี่ ปลูกมากที่สุด จำนวน 537,637 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39.40 และรองลงมาได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 405,213 ไร่ และจังหวัดชุมพร 216,798 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.70 และ 15.89 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลตอบแทนจากผลผลิตของปาล์มน้ำมันจะมีรายได้ดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นเช่น ยางพาราและการทำนาข้าว จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก ประกอบกับมีโครงการเปลี่ยนพื้นที่ปลูกปาล์มทั่วประเทศ คาดว่าปริมาณความต้องการน้ำมันปาล์มภายในเพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้เพราะราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในปี 2539 ส่วนแบ่งของน้ำมันปาล์มต่อ

การบริโภครวมของโลกเท่ากับร้อยละ 15.42 เพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 17.81, 22.00 และ 25.39 ในปี 2543, 2553 และ 2563 ตามลำดับ

จากหนังสือพิมพ์เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 4 พฤษภาคม 2553 ได้อ้างข้อมูลของ สถาบันวิจัยผลิตภัณฑ์ และเทคโนโลยีน้ำมันปาล์ม (POPTEC) ปัจจุบันปาล์มน้ำมันมีพื้นที่ปลูกรวม 3.89 ล้านไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 88 อยู่ใน ภาคใต้ จังหวัดที่ปลูกมาก คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร รองลงมาเป็นภาค ตะวันออกและภาคกลางร้อยละ 11 ส่วนภาคอื่นๆร้อยละ 1 ของพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้วมี ประมาณ 3.19 ล้านไร่ ให้ผลผลิตปาล์มสดรวม 8.16 ล้านตัน สามารถสกัดน้ำมันปาล์มได้ 1.42 ล้านลิตร ผลผลิต น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ ปริมาณ 8-9 แสนลิตร โดยนำไปผลิตไบโอดีเซล 3-4 แสนลิตร ที่เหลือส่งออกและเก็บสำรองเป็นสต็อกภายในประเทศ สำหรับสถานการณ์การผลิตในปี 2553 คาดว่าจะมีพื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว รวม 3.6 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2552 ประมาณ 440,000 ไร่ เนื่องจากมีการปลูกใหม่เมื่อปี 2550 ทั้งในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และ แหล่งผลิตเดิมในภาคใต้ ที่ปลูกทดแทนสวนไม้ผลเก่า เช่น ทุเรียน เงาะ กาแฟ รวมทั้งที่นา และพื้นที่ป่า พรุ พื้นที่ให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นทำให้คาดว่าจะได้ผลผลิตปาล์มสด 10.28 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2552 จำนวน 1.9 ล้านตัน เนื่องจากสวน ปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่เป็นปาล์มน้ำมันพันธุ์ดี และอยู่ในช่วงให้ผล ผลิตสูง ประกอบกับปริมาณน้ำฝนและสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะสม ส่งผลให้ต้นปาล์มให้ผลผลิต เพิ่มขึ้น นายอนันต์ ลิดลา รองอธิบดีกรมส่งเสริมการเกษตร เผยว่า จากการเปิดเสรีทางการค้าในกลุ่ม ประเทศ อาเซียนตามข้อตกลงการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) มีผลกระทบต่อสินค้าปาล์มน้ำมันและน้ำมัน ปาล์ม เนื่องจากประเทศคู่แข่ง คือ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มีต้นทุนการผลิตสินค้าต่ำกว่าประเทศไทย ซึ่งหากมีการนำเข้าน้ำมันปาล์มราคาถูกจากประเทศดังกล่าว จะมีผลกระทบทำให้ราคาผลผลิต ปาล์ม น้ำมันในประเทศตกต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ปัญหาการผลิตปาล์มน้ำมันของเกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมัน ของไทยพบว่าต้นทุนการผลิตปาล์มน้ำมันของไทยเพิ่มสูงขึ้นจาก 2.14 บาท/กิโลกรัม ในปี 2550 เป็น 2.58 บาท/กิโลกรัม ในปี 2552 (ข้อมูล : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากราคา ปุ๋ยเคมีที่สูงขึ้น เกษตรกรใช้ปุ๋ยในอัตราที่มากเกินความต้องการของพืช และพบว่าโครงสร้างต้นทุนการ ผลิตปาล์มน้ำมัน ร้อยละ 40 เป็นค่าปุ๋ยเคมีสำหรับพืชปาล์มน้ำมัน อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ คณะกรรมการนโยบายปาล์มแห่งชาติ

ในส่วนของกรมส่งเสริมการเกษตร ได้ดำเนิน โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมัน ปี 2551-2555 โดยใช้งบกองทุนปรับโครงสร้างการผลิตภาคเกษตรเพื่อเพิ่มขีดความสามารถ แข่งขันของประเทศ โดยจัดถ่ายทอดความรู้เป็นการเตรียมความพร้อมของเกษตรกรเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนการผลิต และปรับปรุงคุณภาพผลผลิตให้เกษตรกรมีความสามารถในการ ผลิตปาล์มน้ำมันเพื่อแข่งขันได้ในอนาคต ในการลดต้นทุนการผลิต เกษตรกรต้องใช้ปุ๋ยให้ถูกต้อง เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และความต้องการของต้นปาล์มน้ำมัน โดยเกษตรกรควรตรวจวิเคราะห์ดิน และใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำเพื่อให้ต้นปาล์มน้ำมันได้รับธาตุอาหารอย่างเหมาะสม เป็นการลดค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยเคมี และช่วยเพิ่มผลตอบแทนแก่เกษตรกร นอกจากนั้นเกษตรกรควรปรับปรุงคุณภาพผลผลิต โดยการเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มสุก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง จะมีส่วนให้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถสกัดน้ำมันได้เปอร์เซ็นต์สูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มของประเทศลดลงตามไปด้วย

ข่าวเศรษฐกิจของธนาคารแห่งประเทศไทย เมื่อวันศุกร์ที่ 21 มกราคม 2554 13:12:11 น. โดยนางอรรณพ ศรีวิโรจน์ เศรษฐกรอาวุโส ส่วนเศรษฐกิจภาค ธปท.สำนักงานภาคใต้ กล่าวว่า ราคาน้ำมันปาล์มปี 2553 เพิ่มขึ้นเป็นประวัติการณ์อีกครั้ง จากปัจจัยพื้นฐานคือ ความต้องการเพื่อบริโภคขยายตัว โดยเฉพาะการขยายตัวของการผลิตไบโอดีเซลตามนโยบายภาครัฐ ขณะเดียวกันสภาพอากาศที่แปรปรวนทั้งเอลนีโญและลานีญา ทำให้อุปทานตึงตัว ทั้งนี้ภาวะเอลนีโญยังคงดันต่อชีววิทยาของต้นปาล์มต่อเนื่องมาในปี 2554 จึงคาดว่าผลผลิตปาล์มน้ำมันจะยังไม่เพียงพอต่อการขยายตัวของอุปสงค์ทำให้ราคาผลปาล์มทะลายน้ำมันปาล์มยังทรงตัวในระดับสูง

ปี 2553 เป็นปีทองของเกษตรกรไทยผู้ปลูกปาล์มน้ำมันอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากผลปาล์มมีราคาสูงเป็นประวัติการณ์กว่าที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วในปี 2551 ส่วนราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกปรับเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ราคาในตลาดซื้อขายล่วงหน้าน้ำมันปาล์มของมาเลเซียและ New Highs หลายครั้ง และสูงเกินกว่าการคาดการณ์ของนักวิเคราะห์ ที่เคยคาดการณ์ว่า ราคาจะอยู่ที่ 2,800-2,900 ริงกิตต่อตัน คำถามที่เกิดขึ้นที่สำคัญมี 2 ประการ คือ ประการแรก ปัจจัยใดที่ทำให้ราคาสูงเกินกว่าที่คาดหมายแล้วทำไมราคาในไทยจึงสูงกว่าตลาดโลกมาก ประการที่สองราคาน้ำมันปาล์ม จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ หรือหยุดที่จุดใด มีโอกาสแค่ไหนที่ราคาจะกลับไปสู่ฐานเดิม (ประมาณ 3 บาท) วัตถุประสงค์ของบทความนี้จึงเสนอบทวิเคราะห์เพื่อตอบคำถามดังกล่าว

ปัจจัยที่ทำให้ราคาน้ำมันปาล์มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ราคาน้ำมันปาล์มดิบและผลปาล์มทะลายไทยเดือนธันวาคมเพิ่มสูงสุดเป็นประวัติการณ์ โดยราคาน้ำมันปาล์มดิบกิโลกรัมละ 43.80 บาท และราคาผลปาล์มทะลายกิโลกรัมละ 7.40 บาท ส่วนราคาเฉลี่ยทั้งปีเพิ่มขึ้นจากปี 2552 ร้อยละ 19.6 และร้อยละ 21.1 ตามลำดับ ที่สำคัญสถานการณ์ปัจจุบันราคายังเพิ่มสูงต่อเนื่อง ภาวะที่ราคาเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการที่มากขึ้น จนอุปทานไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้เกิดอุปสงค์ส่วนเกิน (excess demand) โดยปัจจัยที่กดดันให้อุปสงค์เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับอุปทานน้ำมัน คือ

1.ปี 2553 ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบในประเทศทั้งเพื่อการบริโภคและผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.1 จากปีก่อน ที่สำคัญในเดือนมิถุนายน 2553 ภาครัฐได้ประกาศเพิ่มสัดส่วนการใช้ไบโอดีเซลจาก ปี 2 เป็นปี 3 ส่งผลให้ความต้องการน้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลในปี 2553 เพิ่มขึ้นจากปี 2552 ร้อยละ 14.4 และมีการคาดการณ์ว่า ในปี 2554 ความต้องการน้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล จะเพิ่มขึ้นจากปี 2553 ร้อยละ 53.8 จากนโยบายเพิ่มสัดส่วนการใช้ไบโอดีเซลเป็น ปี 5 เกรดเดียวใน ปี 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปทานตั้งตัวจากปัญหาภัยแล้งตั้งแต่กลางปี 2553 และน้ำท่วมในช่วงปลายปี ทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยต่ำกว่าที่คาดการณ์ โดยผลผลิตปาล์มทะเลทรายที่โรงงานสกัดรับซื้อในไตรมาส 4 ลดลงจากระยะเดียวกันปีก่อนร้อยละ 27.5 เป็นปริมาณที่ต่ำสุดในรอบ 5 ปี จากปัจจัยดังกล่าว คาดว่าสต็อกน้ำมันปาล์มในประเทศ ณ สิ้นเดือนธันวาคม จะเหลือเพียงประมาณ 80,000 ตัน (ปกติอยู่ที่ระดับ 1.2 แสนตัน) ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน ร้อยละ 66.7 ของการความต้องการใช้ในประเทศ

3. ในภาวะที่ผลผลิตตั้งตัวและความต้องการเพิ่มขึ้น แต่มีข้อจำกัดในการนำเข้าจากการที่น้ำมันปาล์มเป็นสินค้าควบคุม ยิ่งกดดันให้ราคาน้ำมันปาล์มดิบสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงกว่าตลาดมาเลเซียถึงลิตรละ 8.78 บาท ในเดือนธันวาคม (ปกติมีส่วนต่างประมาณ 2 บาทต่อลิตร)

นอกจากนี้ราคาน้ำมันปาล์มดิบในตลาดมาเลเซียซึ่งเป็นราคาอ้างอิงในตลาดโลกเร่งตัวขึ้นมากในครึ่งหลังปี 2553 ทำให้ราคาของไทยเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นตามราคาในมาเลเซียอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยราคาตลาดโลกขึ้นสูงสุดในเดือนธันวาคมอยู่ที่ 1,229 ดอลลาร์ต่อตัน และเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 901 ดอลลาร์ต่อตัน จากปัจจัยด้านอุปสงค์ส่วนเกินเช่นเดียวกับสถานการณ์ของไทย ดังนี้

ปัจจัยแรก อัตราการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจโลกขยายตัวต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2546 และเร่งตัวค่อนข้างสูงในปี 2550 มาอยู่ที่ร้อยละ 5.3 ส่งผลให้ความต้องการบริโภคน้ำมันปาล์มโลกเพิ่มขึ้นจาก 27.7 ล้านตันในปี 2546 เป็น 44.7 ล้านตันในปี 2553 โดยเฉพาะประเทศจีนและอินเดียซึ่งเป็นประเทศที่มีเศรษฐกิจขนาดใหญ่และประชากรจำนวนมาก มีความต้องการน้ำมันปาล์มเพื่อบริโภคขยายตัวอย่างรวดเร็ว และปี 2553 การบริโภคของทั้งสองประเทศมีสัดส่วนร้อยละ 28.4 ของโลก

ปัจจัยที่สอง มาตรการใช้พลังงานทดแทนของประเทศต่าง ๆ เพื่อที่จะลดภาวะเรือนกระจกและภาวะโลกร้อน กระแสการผลิตไบโอดีเซลร้อนแรงตั้งแต่ปี 2549 ส่งผลให้ความต้องการน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ทั้งในภูมิภาคเอเชีย สหภาพยุโรป และอเมริกา โดยสหภาพยุโรปได้ออกกฎหมายการใช้พลังงานทดแทนให้ได้ร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในปี 2563 ถึงแม้การผลิตไบโอดีเซลของกลุ่มสหภาพยุโรป ส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบถั่วเหลืองและเมล็ดเรพชิต แต่มีการนำเข้าน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นวัตถุดิบด้วย โดยสหภาพยุโรปนำเข้าน้ำมันปาล์มเป็นอันดับสามของโลก นอกจากนี้เป้าหมายการเพิ่มสัดส่วนการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นในปี 2553-2554 ทั้งในมาเลเซีย อินโดนีเซียและไทย ส่งผลให้ความต้องการน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่สาม อุปทานโลกตั้งตัว เนื่องจากสภาพอากาศที่แปรปรวนทั้งเอลนีโญและลานีญาในปลายปี 2553 ส่งผลให้ผลผลิตพืชน้ำมันและธัญพืชทั่วโลกตั้งตัว โดยผลผลิตน้ำมันปาล์มโลกปี 2553 เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 2.0 จากที่เคยเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 8.3 ต่อปี และสต็อกลดลงจากปีก่อนร้อยละ 5.6 ขณะเดียวกันน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งเป็นสินค้าทดแทนกัน ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศแห้งแล้งในประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่ของโลกคือ บราซิลและอาร์เจนตินา ทำให้การส่งออกน้ำมันถั่วเหลืองปี 2552/53 ของทั้งสองประเทศลดลงร้อยละ 24.1 และร้อยละ 5.8 ตามลำดับ

ปัจจัยที่สี่ การเก็งกำไรในตลาดซื้อขายล่วงหน้า จากการที่นักลงทุนคาดว่าผลผลิตจะมีแนวโน้มตึงตัวและราคาน้ำมันดิบ (crude oil) อาจพุ่งสูงเกิน 100 ดอลลาร์ต่อบาร์เรล ทำให้ความต้องการน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นจนราคามีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้มีการเก็งกำไร ซึ่งเป็นการเพิ่มอุปสงค์เทียมขึ้นมา เป็นแรงกดดันให้ราคาปัจจุบันสูงขึ้น โดยปริมาณการซื้อขายในตลาดล่วงหน้าปี 2553 มีจำนวน 4.06 ล้านสัญญา เพิ่มขึ้นร้อยละ 82.2 จากจำนวน 2.23 ล้านสัญญา ในปี 2549 ราคาน้ำมันปาล์มในปี 2554 คาดว่ายังอยู่ในระดับสูง

ประเทศไทย แม้ว่าในระยะสั้นราคาจะอ่อนตัวลงจากการอนุญาตนำเข้าน้ำมัน ปาล์ม 30,000 ตันในเดือนมกราคม (คิดเป็นร้อยละ 2.3 ของความต้องการใช้ในประเทศ) และผลผลิตฤดูกาลใหม่ จะเริ่มเข้าสู่ตลาดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนก็ตาม อย่างไรก็ตามคาดว่า ราคาปาล์มน้ำมันในปี 2554 ยังอยู่ในระดับสูงก็โลกรั้ละ 6-7 บาท เนื่องจากอุปสงค์ยังขยายตัวต่อเนื่อง ส่วนหนึ่งเป็นผลจากความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลตามมาตรการภาครัฐที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้ไบโอดีเซล เป็น ปี5 ขณะที่ผลผลิตในปี 2554 คาดว่าจะมีปริมาณใกล้เคียงกับปี 2553 ทั้งนี้เป็นผลจากภาวะภัยแล้งในปี 2553 ส่งผลให้ต้นปาล์มเจริญเติบโตไม่เต็มที่และกระทบต่อผลผลิตต่อไร่ของปาล์มน้ำมันใน 12-24 เดือนข้างหน้า ขณะเดียวกันอุทกภัยและวาคภัยมีผลให้ดอกที่จะเจริญเติบโตเป็นผลปาล์มร่วงไปมาก

ตลาดโลก Oil World คาดว่าในปี 2554 ราคาน้ำมันปาล์มเฉลี่ย 1,092 ดอลลาร์ต่อตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2553 ร้อยละ 23.1 โดยปัจจัยที่มีผลต่อราคาปาล์มในตลาดโลก มีดังนี้

1. ความต้องการน้ำมันปาล์มเพื่อบริโภคและผลิต พลังงานทดแทนยังขยายตัวต่อเนื่อง จากข้อมูลของ USDA*(5) ความต้องการบริโภคน้ำมันปาล์มของโลกปี 2553/54 ยังขยายตัวต่อเนื่องจากปี 2552/53 ร้อยละ 7.9 ในขณะที่ผลผลิตขยายตัวร้อยละ 6.9 สะท้อนให้เห็นว่าผลผลิตยังตึงตัว (โดยเฉพาะอินเดียและจีนจะบริโภคเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.8 และร้อยละ 5.9 ตามลำดับ)

2. ปัจจุบันน้ำมันปาล์มเป็นสินค้าโภคภัณฑ์ที่นักลงทุนมีการเก็งกำไรและราคาเคลื่อนไหวตามสินค้าโภคภัณฑ์ในตลาดโลก อุปสงค์ที่เกิดจากการเก็งกำไรจึงขึ้นอยู่กับภาวะเศรษฐกิจโลก การเมือง ผลทางด้านจิตวิทยาและการคาดการณ์ปัจจุบันอยู่ภายใต้ภาวะเศรษฐกิจโลกที่ฟื้นตัวและราคาน้ำมันจากฟอสซิลยังอยู่ในระดับสูง

บทสรุป ปัญหาราคาปาล์มน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว คาดว่าจะอ่อนตัวลงบ้างหลังจากมีการนำเข้าน้ำมันปาล์มจากมาเลเซียและเริ่มเข้าสู่ฤดูกาลให้ผลผลิต และผลผลิตน่าจะเข้าสู่ตลาดมากขึ้นในปลายไตรมาส 1 ถึงไตรมาส 2 อย่างไรก็ตาม ราคาในปี 2554 คาดว่ายังอยู่ในระดับสูงจากการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้ในประเศส่วนหนึ่งเป็นผลจากการเพิ่มสัดส่วนการใช้ไบโอดีเซลเป็น ปี5 ทั้งนี้กระทรวงพาณิชย์ได้เสนอมาตรการเพื่อแก้ปัญหาระยะยาว โดย

1) จัดตั้งกองทุนรักษาเสถียรภาพราคา 2) จัดระเบียบผู้รับซื้อปาล์ม(ลานเท) และ 3) บริหารปริมาณสินค้าคงคลังให้อยู่ในระดับ 1.5 แสนตัน

2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

จากหนังสือเส้นทางสู่ความสำเร็จ การผลิตปาล์มน้ำมัน ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน (2548) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้กล่าวถึงลักษณะโดยทั่วไปของปาล์มน้ำมันสามารถสรุปได้ดังนี้

ชื่อสามัญ	ปาล์มน้ำมัน (Oil palm)
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq
สายพันธุ์ปลูกเป็นการค้า	ลูกผสมเทเนอรา (คูราเอ็กซ์พีซิเฟอรา)
ความสูง	15-18 เมตร
ขนาดลำต้น	45-60 เซนติเมตร
การผลิตทางใบ	20-40 ทางใบ/ปี
ความยาวทางใบ	6-9 เมตร
สีผลสุก	แดงอมม่วง-ส้ม
ระยะการเก็บเกี่ยวหลังปลูกแปลง	30 เดือน
ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว	7-15 วัน/ครั้ง
จำนวนทลาย	10-12 ทลาย/ต้น/ปี
น้ำหนัก/ทลาย	10-30 กิโลกรัม
น้ำหนัก/ผล	3-30 กรัม
น้ำมัน/ทลาย	22-24 กิโลกรัม
ผลผลิตน้ำมัน	640-800 กิโลกรัม/ไร่
ความหนาแน่นของต้น	22-25 ต้น/ไร่
อายุการเก็บเกี่ยวตลอดการปลูก	20-30 ปี
ระยะปลูกที่แนะนำ	9×9 เมตร

2.2.1 ระบบรากของต้นปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบรากฝอย ประกอบด้วยรากชูดต่างๆ ประมาณ 4 ชูด รากชูดต่างๆทำหน้าที่ช่วยลำต้นดูดซับน้ำธาตุอาหาร รากชูดแรกที่อยู่ในระดับแนวนอนยาว 3-4 เมตรจากต้น และอยู่ในแนวตั้ง 1-2 เมตรจากผิวดิน สำหรับรากชูดที่สอง สามและสี่ จะเกิดเรียงตามลำดับดังรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปจะเกิดมากและสามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารที่ปาล์มนำมาใช้ประโยชน์ที่ระดับความลึก 30-50 เซนติเมตรจากผิวดินตามรูปที่ 2.2

2.3 การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชอายุยาวมีช่วงการให้ผลผลิตนานมากกว่า 20 ปี โดยปกติปาล์มน้ำมันจะเริ่มให้ผลผลิตตั้งแต่อายุประมาณ 3 ปี เมื่ออายุมากขึ้นผลผลิตจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่งผลผลิตจะคงที่และรักษาระดับของผลผลิตไว้จนกระทั่งเมื่อปาล์มอายุมากขึ้น ผลผลิตจะค่อยๆลดลง ดังนั้นในการสร้างสวนปาล์มเพื่อให้ประสบผลสำเร็จจะต้อง คำนึงถึง 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ พื้นที่ปลูก พันธุ์ปลูก การจัดการสวนที่ถูกต้องและตลาด

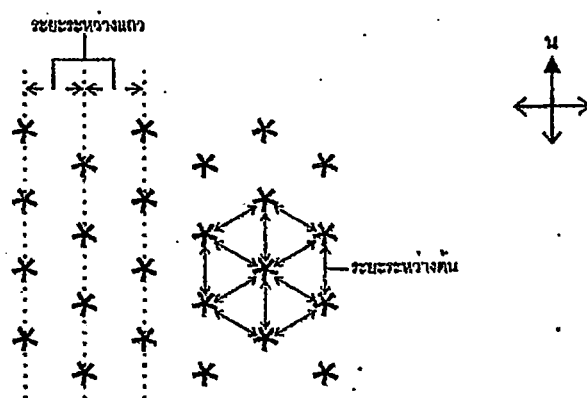
พื้นที่ปลูกถือเป็นปัจจัยสำคัญเบื้องต้นในการสร้างสวนปาล์มน้ำมัน โดยในการเลือกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันจะต้องคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ความลาดชัน การท่วมขังของน้ำ การระบายน้ำ/ความสามารถในการซึมน้ำของดิน ลักษณะเนื้อดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน และสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณและการกระจายของฝน แสงแดด อุณหภูมิและลม ถ้าสภาพพื้นที่ปลูกไม่เหมาะสม มีผล 2 ประการใหญ่ คือ ประการแรกมีผลต่อต้นทุนในการเตรียมพื้นที่ หากพื้นที่ปลูกมีความเหมาะสมมีสภาพราบเรียบ การระบายน้ำดี ต้นทุนในการเตรียมพื้นที่ปลูกก็จะต่ำ แต่ถ้าหากสภาพพื้นที่ปลูกไม่เหมาะสมจำเป็นต้องปรับสภาพพื้นที่ เช่น มีการขุดคูยกทรงสำหรับพื้นที่ซึ่งมีน้ำขัง หรือทำขั้นบันไดในพื้นที่ซึ่งลาดชันต้นทุนจะสูง ประการที่สองมีผลต่อต้นทุนในการสร้างผลผลิตพบว่าในระดับที่ให้ผลผลิตเท่ากันการปลูกปาล์มในพื้นที่ที่เหมาะสมจะใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าปาล์มที่ปลูกในพื้นที่ซึ่งไม่เหมาะสม

การปลูกต้นปาล์มน้ำมัน การจัดผังปลูกเป็นการวางแผนใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ระยะปลูกขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของดินด้วย ระยะปลูกในดินสภาพไม่ดี เช่น ดินทรายจัด ควรใช้ระยะระหว่างต้นอย่างน้อย 9 เมตร แต่หากปลูกในพื้นที่ดินดี เช่น ป่าเปิดใหม่ควรเพิ่มระยะปลูกให้มากขึ้นเป็น 9.5 หรือ 10 เมตร เพราะเมื่อต้นปาล์มโตเต็มที่หากปลูกระยะใกล้เกินไปทางใบจะสวนกัน ต้นปาล์มจะชิงกันสูงทำให้ออกทกลายน้อยลง นอกจากนั้นควรให้มีถนนที่รถสามารถวนได้รอบสวนเพื่อสะดวกในการบำรุง รักษาและขนส่งผลผลิต การจัดผังปลูกแบบสลับฟันปลาจะปลูกต้นปาล์มได้จำนวนมากว่าการปลูกแบบสี่เหลี่ยมด้านเท่า มีวิธีการจัดระยะต่างๆตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระยะปลูกของต้นปาล์ม

ระยะปลูก (เมตร)	ระยะห่างระหว่าง ต้น(เมตร)	ระยะห่างระหว่าง แถว(เมตร)	จำนวนต้น/ ไร่(ต้น)	หมายเหตุ
8x8	8	6.9	28	เหมาะกับพันธุ์ทางใบสั้น
8.5x8.5	8.5	7.4	25	เหมาะกับพันธุ์ทางใบสั้น
9.5x9.5	9.5	8.3	20	เหมาะกับพันธุ์ทางใบยาวดินปานกลาง
10x10	10	8.7	18	เหมาะกับพันธุ์ทางใบยาวดินดี

ที่มา: ฝ่ายวิจัยปาล์มน้ำมัน, 2540



รูปที่ 2.3 ลักษณะการจัดผังแบบสลัฟพื้นปลา

ที่มา: ฝ่ายวิจัยปาล์มน้ำมัน, 2540

2.3.1 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชขึ้นดินที่ต้องการธาตุอาหารสูงในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตโดยมีการประมาณการว่าใช้ธาตุอาหารสะสมในช่วงการเจริญเติบโต 9 ปีแรก โดยมีความต้องการตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางธาตุอาหารสะสมในช่วงการเจริญเติบโต 9 ปี

ไนโตรเจน กก./ไร่	ฟอสฟอรัส กก./ไร่	โพแทสเซียม กก./ไร่	แมกนีเซียม กก./ไร่	แคลเซียม กก./ไร่
196-275	32-43	296-398	50-67	84-115

ที่มา: ฝ่ายวิจัยปาล์มน้ำมัน, 2540

ขณะเดียวกันก็มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายนอกจากสวน ทำให้มีกา สูญเสียธาตุอาหารออกไปกับผลผลิต โดยทุกๆ 1,000 กก. ของผลผลิตนั้นทำให้ที่การสูญเสียธาตุอาหาร N, P, K, Mg, และ Ca ออกไปประมาณ 2.94, 0.44, 3.71, 0.77 และ 0.81 กก. ตามลำดับ นอกจากนี้การที่มีฝนตกชุกก็ทำให้มีการชะล้างธาตุอาหารออกไปจากดิน ทั้งที่ติดไปกับดินที่ถูกชะล้างและ สูญเสียไปกับน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้เพียงพอ ต่อการเจริญเติบโตและ ให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน โดยการใส่ปุ๋ยซึ่งต้องมีการจัดการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายสำคัญดังนี้

1. ให้ได้สัดส่วนและปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมกับปาล์มน้ำมัน ให้ได้ผลผลิตสูง
2. ให้ได้ผลตอบแทน กำไรสูง
3. ทำให้ดินยังคงมีความอุดมสมบูรณ์
4. ควรพิจารณาให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.3.2 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันในกรณีที่เกิดปัญหารุนแรง (ที่มา:การผลิตปาล์มน้ำมัน)

กรณีที่ปาล์มน้ำมันขาดธาตุอาหารอย่างรุนแรงจนแสดงอาการขาดธาตุอาหารออกมาทางใบซึ่งหมายถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้ลดลงอย่างมากแล้วจำเป็นต้องมีการแก้ไขโดยให้ธาตุอาหารเพิ่มอย่างเร่งด่วนจากปุ๋ย ในกรณีนี้สามารถสังเกตได้จากอาการขาดธาตุอาหารที่ใบและมีการแก้ไขดังนี้

อาการขาดไนโตรเจน ทำให้ปาล์มน้ำมันชะงักการเจริญเติบโตได้ทางใบต้น สามารถสังเกตจากวัชพืชที่อยู่บริเวณใกล้เคียง บริเวณโคนต้น เช่น หญ้าคามีใบสีม่วงอมแดง วัชพืชแคระแกร็น พืชคลุมดินมีใบเล็กผิดปกติดังรูปที่ 2.4

การแก้ไข ใส่ปุ๋ย18-46-0 หรือหินฟอสเฟตคุณภาพดี อัตรา1.5-2.0 กก./ต้น/ปี



รูปที่ 2.4 ลักษณะการขาดไนโตรเจน

ที่มา:ธีระ เอกสมทราเมษฐ, 2548

อาการของการขาดโพแทสเซียม ใบมีจุดประสีส้ม ถ้าอาการขาดรุนแรงจะพบเนื้อเยื่อตาย บริเวณจุดสีส้มปลายใบและขอบ ใบแห้งดังรูปที่ 2.5

การแก้ไข ใส่ปุ๋ย0-0-60 อัตรา3.0-4.0กก./ต้น/ปี



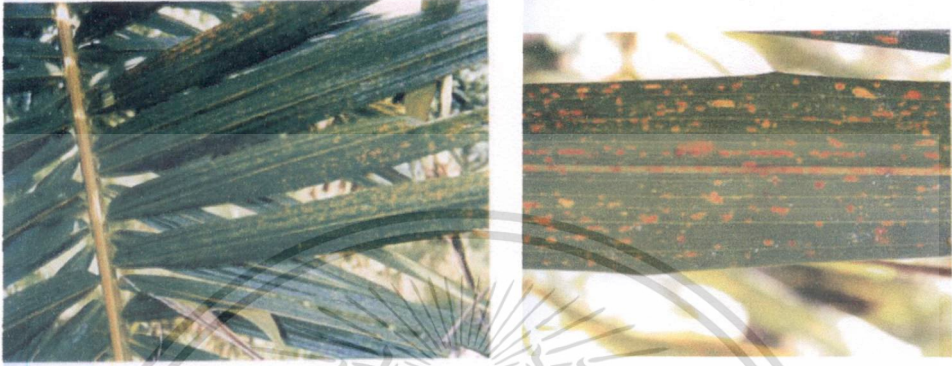
รูปที่ 2.5 ลักษณะการขาดโพแทสเซียม

ที่มา:ธีระ เอกสมทราเมษฐ, 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาการของการขาดแมกนีเซียม ใบแก่จะแสดงอาการสีเหลืองอมส้ม จะสังเกตเห็นชัดเจนในใบที่ถูกแสงแดดโดยตรง แต่ใบที่อยู่ในร่ม(ใบด้านล่าง)ยังมีสีเขียวดังรูปที่ 2.6

การแก้ไข ใส่คีเซอไรต์(kieserite)(27%Mg,23%S)อัตรา1.5-2.0กก./ต้น/ปี



รูปที่ 2.6 ลักษณะการขาดแมกนีเซียม

ที่มา:ธีระ เอกสมทราเมษฐ, 2548

อาการของการขาดโบรอน ในใบแก่จะแสดงอาการใบหยิก ผิวไม่เรียบ ใบผิดรูปร่าง บางครั้งในใบที่อ่อน ปลายใบย่อยจะงอเป็นรูปตะขอดังรูปที่2.7

การแก้ไข ใส่โบรแรกซ์อัตรา 10-20กรัม/ต้น/ปี สำหรับปาล์มอายุ2-3ปี และ30-40กรัม/ต้น/ปี เมื่อปาล์มอายุ4 ปีขึ้นไป



รูปที่ 2.7 ลักษณะการขาดโบรอน

ที่มา:ธีระ เอกสมทราเมษฐ, 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาการลักษณะแถบใบขาว เป็นแถบขาวตามความยาวของใบย่อย เกิดขึ้นเนื่องจากสัดส่วนของไนโตรเจนต่อโพแทสเซียมในใบมีมากกว่า 2.5 ดังรูปที่ 2.8

การแก้ไข ลดการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และใส่ปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 2.5-4.0 กก./ต้น/ปี



รูปที่ 2.8 ลักษณะแถบใบขาว

ที่มา:ธีระ เอกสมทราเมษฐ, 2548

2.3.3 ปริมาณการใส่ปุ๋ยสูตรต่างตามคำแนะนำ

มีหลายหน่วยงานทั้งภายในและภายนอกประเทศ ได้ทำการวิจัยการใส่ปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมันเพื่อให้เหมาะสมตามพื้นที่ของเพาะปลูกและตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน ไว้ดังนี้

2.3.3.1 คำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ได้แนะนำการใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมันให้กับเกษตรกร รตามช่วงอายุเวลาตามตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 ตามสภาพพื้นที่

ตารางที่ 2.3 การใส่ปุ๋ยผสมหรือปุ๋ยสูตรตามอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน

อายุ(ปี)	ชนิดปุ๋ย (สูตรปุ๋ย) *			อัตรา (กก./ต้น/ปี)
	พื้นที่ปลูกขาดฝนประมาณ 2 เดือน		พื้นที่ปลูกขาดฝนมากกว่า 2 เดือน	
	ดินร่วนเหนียว	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนทราย	
1	14 - 14 - 14	19 - 14 - 14	14 - 14 - 14	1.50
2	14 - 11 - 28	11 - 17 - 34	1 - 8 - 22	2.50
3	14 - 10 - 32	15 - 16 - 32	12 - 8 - 28	3.50
4	11 - 8 - 31	12 - 9 - 34	9 - 6 - 28	4.50
5 ขึ้นไป	8 - 6 - 28	10 - 8 - 31	7 - 6 - 23	5.50

ที่มา:กรมวิชาการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การใส่ปุ๋ยเดี่ยว (N, P หรือ K) ตามอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน

อายุ (ปี)	พื้นที่ปลูกขาดฝน ประมาณ 2 เดือน						พื้นที่ปลูกขาดฝนมากกว่า 2 เดือน		
	ดินร่วนเหนียว *			ดินร่วนปนทราย *			ดินร่วนปนทราย *		
	AS	KCL	RP	AS	KCL	RP	AS	KCL	RP
1	1.00	0.35	0.70	1.3	0.35	50.70	1.00	0.35	0.70
2	1.65	1.17	0.93	2.00	1.40	0.95	1.35	0.95	0.70
3	2.35	1.85	1.40	2.65	2.10	1.40	2.00	0.65	1.00
4	2.35	2.35	1.40	2.65	2.55	1.40	2.00	2.10	1.00
>5	2.00	2.50	1.40	2.35	2.80	1.40	1.75	2.10	1.00

* AS = ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต, RP = ปุ๋ยหินฟอสเฟต, KCL = ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์
 สำหรับธาตุอาหาร Mg และ B แนะนำให้ใส่ดังตารางที่ 2.5
 ที่มา: กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 2.5 การใส่ปุ๋ยคีเซอไรต์และ โบแรกซ์ตามอายุพืช

อายุ (ปี)	คีเซอไรต์ (กก./ต้น/ปี)	โบแรกซ์ (กรัม/ต้น/ปี)
1	0.02	
2	0.40	35
3	0.80	70
4	1.00	100
>5	1.00	150

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร

กล่าวโดยสรุปในภาพรวมต่างๆ ไปของดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำในสวนปาล์ม
 นำมันอายุ 5 ปีขึ้นไป กรมวิชาการเกษตรแนะนำให้ใส่ปุ๋ยดังนี้

แอมโมเนียมซัลเฟต	1.75 – 2.50	กก./ต้น/ปี
หินฟอสเฟตหรือทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	1.00 – 1.50	กก./ต้น/ปี
โพแทสเซียมคลอไรด์	2.25 – 2.50	กก./ต้น/ปี

2.3.3.2 คำแนะนำของสถาบันโพแทส และสถาบันโพแทสนานาชาติ

เป็นหน่วยงานที่ ทำการวิจัยเกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน มีประสบการณ์ในการทดลองปุ๋ยกับปาล์ม น้ำมันอย่างยาวนานในประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย มีการแนะนำการให้ปุ๋ยตาม ช่วงอายุของปาล์ม น้ำมัน ตั้งแต่ปลูกตาม ตารางที่ 2.6, 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 1-3 ปี

ปีที่	เดือนที่	ปุ๋ย(กรัม/ต้น)					รวม
		ยูเรีย	TSP/Rock phosphate	KCl	คีเซอรั ไรต์	โบรอน	
1	0(ใส่หลุมปลูก)	-	500	-	-	-	500
	1	50	-	-	-	-	50
	3	80	-	-	100	-	180
	6	100	-	100	-	-	200
	9	150	250	150	-	30	580
	12	180	-	200	-	-	380
	รวม	560	750	450	100	30	1890
2	15	250	-	-	250	-	500
	18	250	500	500	-	60	1310
	21	400	-	750	250	-	1400
	24	600	500	-	-	60	2160
	รวม	1500	1000	2250	500	120	5370
3	27	750	-	1000	500	-	2250
	31	750	1500	1000	-	90	3340
	36	1000	-	1000	500	-	2500
	รวม	2500	1500	3000	1000	90	8090

* เพิ่มอัตราปุ๋ยยูเรียอีก 20% ถ้าหากพืชคลุมดิน ไม่ใช่พืชตระกูลถั่วรวมอยู่ด้วย

** สำหรับปาล์มเล็กควรใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) หรือ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) ถ้าจะใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต ก็ควรจะเป็นชนิดที่เกิดปฏิกิริยาที่จะให้ฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์ ต่อพืชได้สูง (highly reactive rock) เช่น North Carolina Rock phosphate (NCRP)

*** KCl = โพแทสเซียมคลอไรด์ (0 - 0 - 60)

หมายเหตุ สามารถใช้ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18 - 46 - 0) แทน TSP ได้

ตารางที่ 2.7 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มที่โตเต็มที่แล้ว (อายุ 4 – 8 ปี)

ปีที่	หลังจากปลูก เดือน	ปุ๋ย (กรัม/ต้น)					
		ยูเรีย	TSP/Rock phosphate	KCl	คีเซอ ไรต์	โบรอน	รวม
4	40	1,000	1,500	1,500	500	100	4,600
	46	1,000	-	1,500	500	-	3,000
รวม		2,000	1,500	3,000	1,000	100	7,600
5	52	2,000	1,500	2,000	500	80	6,080
	58	750	-	2,000	500	-	3,250
รวม		2,750	1,500	4,000	1,000	80	9,330
6-8	ใส่ปุ๋ยละ 2	1,000	1,500**	2,000	500	***	5,000
	ครั้ง	1,500	-	2,000	500	-	4,000

* ในระหว่างปีที่ 4 และ 5 อาจจะไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจนถ้าหากมีพืชตระกูลถั่วยังคงเจริญเติบโตดี

** แนะนำให้ใช้ฟอสฟอรัสในรูปหินฟอสเฟต

*** ในบางกรณีอาจจะใส่โบรอนไปจนปาล์มอายุ 8 ปี

หมายเหตุ สามารถใช้โคแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) แทน TSP ได้

ตารางที่ 2.8 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มที่มีอายุ 9 ปี หรือมากกว่า (กค./ต้น/ปี)

ยูเรีย	TSP/Rock Phosphate	KCl	คีเซอไรต์	โบรอน
2.0-3.5	0-1.5	1.5-4.0	0-1.5	0-0.1

หมายเหตุ สามารถใช้โคแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) แทน TSP ได้

2.3.3.3 ข้อมูลการใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมันจากงานวิจัย

จากโครงการความต้องการธาตุอาหารและการจัดการปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2544) ได้ให้ ข้อมูลการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มที่มีอายุ 5- 9 ปี (กรัม/ต้น/ปี) ที่ปลูกในดินร่วนปนทรายดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ตารางการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มแก่(9ปี)หรือมากกว่า(กก./ต้น/ปี)

ยูเรีย	TSP	KCI	คีเซอไรต์	โบรอน
2,040	1,050	2,800	700	56

ที่มา: ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2544

อย่างไรก็ตามปริมาณปุ๋ยที่ใช้เหล่านี้เป็นเพียงคำแนะนำทั่วไป ซึ่งเกษตรกรสามารถเลือกนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการใช้ปุ๋ยในแปลงได้ แต่ต้องมีการติดตามผลโดยมีการเก็บตัวอย่างดินและใบเพื่อวิเคราะห์ บันทึกรูปผลผลิตอย่างสม่ำเสมอทุกปี เพื่อนำข้อมูลมาปรับปริมาณการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ และสภาพแวดล้อมของเกษตรกรเอง เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงได้ผลตอบแทนสูงสุดในการลงทุน

2.3.4 ระยะเวลาในการใส่ปุ๋ย (ที่มา: ชัยรัตน์ นิลนนท์, 2544)

ให้ใส่ปุ๋ยเมื่อดินมีความชื้นเพียงพอ หลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ยเมื่อแล้งจัดหรือมีฝนตกหนักในปีแรก ควรแบ่งใส่ 4-5 ครั้ง/ปี ตั้งแต่ปีที่ 2-3 แบ่งใส่ 3 ครั้ง/ปี ในช่วงต้นฤดูฝน กลางฤดูฝน และปลายฤดูฝน และเมื่อปาล์มน้ำมันอายุ 4 ปีขึ้นไป สามารถแบ่งใส่ได้ปีละ 2 ครั้ง ในช่วงต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน การใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง/ปี แนะนำให้ใช้สัดส่วนการแบ่งใส่ดังนี้ ในครั้งแรกใส่ 50% ครั้งที่สองและครั้งที่สามใส่ครั้งละ 25% ในกรณีที่แบ่งใส่ 2 ครั้ง/ปี โดยทั่วไปใช้สัดส่วนแบ่งใส่ 60% ในครั้งแรกตอนต้นฤดูฝน และใส่ที่เหลืออีก 40% ในปลายฤดูฝน ปุ๋ย P โฟสเฟตซีม และปุ๋ย B โบรแรกซ์ สามารถใส่ครั้งเดียวโดยใส่ครั้งแรกทั้งหมดได้

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลการใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มที่มีอายุ 5- 9 ปี (กรัม/ต้น/ปี)ที่ปลูกในดินร่วนปนทราย

ชนิดของแม่ปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ย (กรัม/ต้น/ปี)	การให้ปุ๋ยแต่ละครั้ง(กรัม/ต้น)[กิโลกรัมต่อไร่]		
		ครั้งที่ 1(50%)	ครั้งที่ 2(25%)	ครั้งที่ 3(25%)
ยูเรีย (Urea)	1,514	757[16.65]	378.5[8.33]	378.5[8.33]
ไดแอม โมเนีฟอสเฟต(DAP)	1,050	525[11.55]	262.5[5.78]	262.5[5.78]
โพแทสเซียมคลอไรด์(KCI)	2,800	1400[30.8]	700[15.4]	700[15.4]
คีเซอไรต์ (Mg)	700	350[7.7]	175[3.85]	175[3.85]
โบรอน (B)	56	28[0.62]	14[0.31]	14[0.31]
รวม	6,120	3,060[67.3]	1,530[33.7]	1,530[33.7]

ที่มา: ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2544

2.3.5 วิธีการใส่ปุ๋ย

วิธีการใส่ปุ๋ยเพื่อที่จะให้ได้ประโยชน์สูงสุด จะต้องใส่ปุ๋ยให้ถูก เวลาและวิธีตามความต้องการของพืช ดังนั้นการใส่ปุ๋ยจึงมีความสำคัญมาก การใส่ปุ๋ยมีวิธีการดังนี้

1. ไม่ใส่รอบบริเวณฐานลำต้นหรือใกล้ลำต้นเกินไป
2. ไม่ใส่ปุ๋ยกองเป็นก้อนหรือหนาเป็นแถบ เพราะจะทำอันตรายต่อรากพืชได้
3. ต้องกำจัดวัชพืชรอบๆทรงพุ่ม หรือบริเวณที่ใส่ปุ๋ยทั้งหมด
4. ปาล์มอายุ 1-4 ปีให้โรยหรือใส่ปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอภายในบริเวณวงจำกัดวัชพืชที่มีรัศมี

ใกล้เคียงกับทรงพุ่ม

5. ปาล์มอายุ 5 ปีขึ้นไป ใส่ห่างจากโคนต้น 50 ซม. จนถึงบริเวณรัศมีรอบทรงพุ่ม โดย หว่านอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะปุ๋ยในโตรเจน
6. ปุ๋ยฟอสฟอรัสควรหว่านเป็นแถบกว้างๆรอบรัศมีด้านในของทรงพุ่ม
7. ในบางครั้งสำหรับปาล์มที่มีอายุตั้งแต่ 8 ปีขึ้นไปสามารถใส่ปุ๋ยระหว่างแถวปลูกภายใต้รัศมีทรงพุ่มได้ โดยเฉพาะฟอสฟอรัสและ แมกนีเซียมแต่ต้องมีการกำจัดวัชพืชให้หมดก่อน

2.3.6 ข้อเสนอแนะในการให้ปุ๋ยปาล์ม

การใส่ปุ๋ยปาล์มอย่างมีประสิทธิภาพควรปฏิบัติตามข้อแนะนำ ดังนี้

1. กำกับถึงความสมดุลของธาตุอาหาร โดยยึดหลักตามอายุของปาล์มน้ำมันเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิต
2. ปรับปรุงเทคนิคในการประเมินความต้องการธาตุอาหาร พืชที่เป็นประโยชน์ในดินและความสามารถในการใช้ธาตุอาหารพืชของปาล์มน้ำมัน
3. ใช้ประโยชน์ในการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่วที่ใช้เป็นพืชคลุมดิน
4. ลดการสูญเสียธาตุอาหารพืช เนื่องจากการชะล้างโดยการแบ่งใส่และใส่ในช่วง ที่ฝนตกน้อยหรือในกรณีที่เป็นพื้นที่ลาดชันมักอาจมีการชะล้างใส่ 3-4 หลุมรอบต้น ในบริเวณทรงพุ่ม
5. เลือกใช้ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ มากที่สุดแต่ราคาถูก เช่น ยูเรีย แอมโมเนียมซัลเฟต สำหรับให้ ไนโตรเจน และหินฟอสเฟตสำหรับให้ธาตุ ฟอสฟอรัส หรือการใช้แอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) ร่วมกับโคโลไมต์แทนการใส่ปุ๋ยคีเซอไรต์ ซึ่งมีราคาแพง
6. หว่านปุ๋ยให้ทั่วบริเวณกว้างที่สุด เพื่อจะเพิ่มการเจริญเติบโตของรากในการหาอาหาร ไม่ว่าจะเป็นในกรณีที่หว่านภายในบริเวณที่กำจัดวัชพืชหรือบริเวณที่มีพืชคลุมดินระหว่างแถวปาล์ม สำหรับปาล์มที่มีอายุมาก

7. รักษาสมดุลระหว่างธาตุอาหารที่พืชต้องการมาก เช่น ไนโตรเจน กับฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม กับ แมกนีเซียม

8. ให้ความสนใจเกี่ยวกับความจำเป็นในการให้จุลินทรีย์ เช่น โบริออน และทองแดง โดยเฉพาะ การปลูกปาล์มในดินพรุ

9. ถ้าจะปลูกปาล์มในดินที่มีปัญหา เช่น ดินกรด จัด ดินพรุที่ลึก ก็ควรจะปรับปรุงดินตั้งแต่ตอนแรกก่อนที่จะปลูกปาล์มน้ำมัน

2.4 หลักการเบื้องต้นของเครื่องหว่านปุ๋ย

2.4.1 เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้ในการใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยเป็นสารเคมีที่ให้แก่พืช เมื่อดินมีธาตุอาหาร ไม่เพียงพอแก่การเจริญเติบโต ดินที่ทำการเพาะปลูกพืชติดต่อกันนานๆ ธาตุอาหารของพืชในดินก็ลดลงพืชก็ให้ผลผลิตลดลง โดยเฉพาะดินทรายจะเสีธาตุอาหาร มากหากมีน้ำหลาก หรือมีการระบายน้ำเกิดขึ้น ปุ๋ยจึงมีความจำเป็นในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินเพื่อชดเชยธาตุอาหารที่สูญเสียไป ธาตุอาหารที่มีประโยชน์กับดินและพืชมีอยู่สามชนิดและปริมาณที่ให้ก็มีความสำคัญ ปุ๋ยที่ใส่ลงไปดินมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยเม็ด ปุ๋ยที่มีลักษณะเป็นของเหลวหรือก๊าซ การออกแบบอุปกรณ์ให้ปุ๋ยพืชจึงมีลักษณะเฉพาะของเครื่อง ตามความเหมาะสมกับ ปุ๋ยแต่ละชนิด และวิธีการให้รวมทั้งชนิดของพืชและชนิดของดิน จึงได้มีการพัฒนาเครื่องให้ปุ๋ยอยู่ตลอดเวลา โดยทั่วไปปุ๋ยจะอยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งต้องการเครื่องหว่านหรือหยอดลงในดิน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใส่ที่ต้องการ ลักษณะการใส่ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 6 แบบ คือ

1. การหว่านก่อนการไถ และการใส่ปุ๋ยลงในขณะไถ
2. การใส่ปุ๋ยใต้ดิน (Deep placement) โดยใช้ไถลึก
3. การหว่านและการใส่หลังการไถหรือก่อนการปลูก
4. การใส่ขณะปลูก
5. การใส่หลังการปลูกที่เรียกว่า Side dressing และ Topdressing
6. การใส่ปุ๋ยในทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ด้วยเครื่องมือพิเศษเฉพาะอย่าง

2.4.2 ชนิดของเครื่องใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยที่ให้แก่พืชมีหลายรูปแบบ เครื่องใส่ปุ๋ยสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยของแข็ง
2. เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยกึ่งเหลว
3. เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยเหลว
4. เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยก๊าซ

เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยที่เป็นของแข็งสามารถจำแนกย่อยออกเป็นเครื่องหว่าน เครื่องโรยบนผิวดินและเครื่องใส่ระหว่างแถวพืชและเป็นแถบใต้ผิวดิน

2.4.3 เครื่องหว่านปุ๋ย (Fertilizer Broadcaster)

เครื่องหว่านปุ๋ยมีชื่อเรียกต่างกันตามการออกแบบ หรือลักษณะการให้ปุ๋ย เช่น Drop-Type และ Full-Width-Feed Broadcaster ซึ่งมีถังบรรจุปุ๋ย อยู่ด้านบน ลักษณะคล้ายกับเครื่องหว่านเมล็ด พืชสามารถใช้แทนกันได้ถ้าทำได้ด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เช่น ปุ๋ย ใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกัน คือ ปุ๋ยจะถูกเหวี่ยงกระจายออกไปด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เครื่องหว่านปุ๋ยแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Broadcaster) เครื่องหว่านปุ๋ยประเภทนี้มีทั้งแบบลากจูง (Pull-Type) และแบบบรรทุก (Mounted-Type) ถังเครื่องหว่านปุ๋ยมีถังบรรจุปุ๋ย (Fertilizer Hopper) มากกว่า 1 ถังขึ้นไป จะทำให้การกระจายของเครื่องหว่านแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะหว่านที่ซ้อนกัน (Overlap) ที่ใช้และรูปแบบของการกระจาย

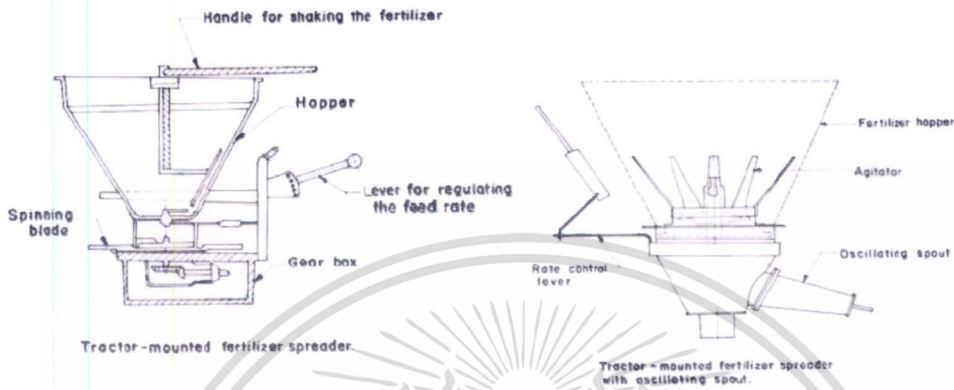
2.4.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องหว่านกระจายปุ๋ย

1. ถังบรรจุ (Hopper) ลักษณะเป็นรูปกรวย คือ มีตัวถังเอียงเพื่อให้ปุ๋ยไหลลงได้สะดวก
2. ตัวค้ำยปุ๋ย (Agitator) มีรูปร่างเป็นหนามจะหมุนช่วยค้ำยปุ๋ยที่อยู่ก้นถัง เพื่อไม่ให้ปุ๋ยจับตัวกันจนไม่สามารถไหลผ่านไปได้
3. ช่องจ่ายปุ๋ย (Shutter) เป็นช่องสำหรับให้ปุ๋ยผ่านจากถังบรรจุลงสู่จานเหวี่ยง สามารถปรับหรือเปิดปิดเพื่อควบคุมการไหลของปุ๋ย
4. กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device) เป็นตัวช่วยกำหนดปริมาณการไหลออกของปุ๋ยจะวางตามแนวตลอดความยาวถัง มีหลายลักษณะตามลักษณะของงานที่ใช้
5. อุปกรณ์หว่านปุ๋ยทำหน้าที่กระจายปุ๋ยลงสู่พื้นดิน โดยได้รับต้นกำลังจากเพลาอำนาจกำลัง (P.T.O) ของรถแทรกเตอร์

2.4.5 หลักการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย

ปุ๋ยจะถูกบรรจุอยู่ในถังบรรจุ (Hopper) ตามความต้องการใช้งาน ปุ๋ยจะไหลตามแนวเอียงของถังบรรจุ ผ่านทางช่องแคบๆ ที่เรียกว่าช่องจ่ายปุ๋ย (Shutter) โดยมีตัวกวนปุ๋ยช่วยกวนปุ๋ยไม่ให้ ติดในขณะไหลออกจากช่องจ่ายปุ๋ย เข้าสู่กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device) ซึ่งกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยจะถูกคำนวณให้มีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องหว่านปุ๋ย เพื่อให้ปริมาณปุ๋ยเหมาะสมกับความต้องการของพืช ปุ๋ยที่ไหลออกจากกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยแล้ว จะร่วงลงสู่อุปกรณ์หว่านปุ๋ย เพื่อกระจายปุ๋ยให้มีการกระจายตัวก่อนร่วงลงสู่พื้นดิน

ส่วนเครื่องหว่านปุ๋ยแบบท่อเหวี่ยง การเหวี่ยงกลับไปกลับมาของท่อเหวี่ยง (Sport hose) จะทำให้ปุ๋ยที่อยู่ในถังตกลงไปในท่อเหวี่ยงที่อยู่ข้างใต้ถูกเหวี่ยงแล้วกระจายออกไป ความกว้างในการทำงานของเครื่องประมาณ 4-6 เมตร



รูปที่ 2.9 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบท่อเหวี่ยง

ที่มา: Srivastava A.K., 1993.

2.4.6 เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีที่มีขายในท้องตลาด โดยมีหลักการใช้งานเหวี่ยงหนัศูนย์กลาง



รูปที่ 2.10 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบแบบ MAGNUM 550

ที่มา: บริษัท กมลอินคัสตรี จำกัด

เครื่องหว่านปุ๋ยรุ่น MAGNUM 550 เป็นเครื่องหว่านปุ๋ยที่ใช้งานเหวี่ยงศูนย์กลาง ได้รับต้นกำเนิดมาจากเพลอาอานวยกำลัง สามารถหว่านปุ๋ยได้หน้ากว้างการทำงาน 14-20 เมตร ถึงมีความจุ 560 ลิตร ราคาขายในท้องตลาดอยู่ที่ 80,000-100,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 เครื่องหว่านปุยแบบ503VB

ที่มา:บริษัทพงษ์ล่อพัฒนา (ประเทศไทย) จำกัด

เครื่องหว่านปุยรุ่น503VB ก็เป็นเครื่องหว่านปุยอีกเครื่องที่มีขายในท้องตลาดใช้หลักการงานเหวี่ยงศูนย์กลางเป็นตัวกระจายปุย และใช้เพลลาอำนาจกำลังเป็นต้นกำลัง สามารถหว่านปุยได้หน้ากว้าง 6-12เมตร ถึงมีความจุ 360 ลิตร ราคาขายในท้องตลาดอยู่ที่ 80,000 บาท

2.5. การสำรวจโรงงานผลิตเครื่องหว่านปุยมูลสัตว์

จากรายงานผลงานวิจัยการศึกษาการใช้และออกแบบเครื่องหว่านปุยคอกของพินัย ทองสวัสดิวงศ์, 2546 พบว่าปัจจุบันในประเทศไทยได้มีโรงงานผลิตเครื่องหว่านปุยหลายแห่ง แต่จะเป็นเครื่องหว่านปุยจากมูลสัตว์ ในการสำรวจพื้นที่ภาคกลางได้มีการยกตัวอย่าง โรงงานผลิตเครื่องหว่านปุยไว้จำนวน 3 โรงงานคือ

1. ช่างเสรีรัฐ ซอย 12 ต.ช่องสาธิต อ.พัฒนานิมคม จ.ลพบุรี เป็นโรงงานขนาดกลาง ผลิตเครื่องหยอดเมล็ดพืช เครื่องหว่านปุยมูลไก่ผสมเกลบ เครื่องกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ย เครื่องหว่านปุยคอก โดยดำเนินการประมาณ 15 ปี เครื่องหว่านปุยมูลไก่ผสมเกลบเป็นแบบใช้รถแทรกเตอร์ลาก (รูปที่ 2.15) ระบบลำเลียงปุยเป็นโซ่ลำเลียงนำปุยไปสู่ด้านท้าย โดยมีใบพัดทำหน้าที่หมุนหว่านกระจายปุย การปรับอัตราหว่านปุยทำโดยการปรับช่องด้านท้าย ระบบลำเลียงปุยแบบโซ่สามารถลำเลียงปุยได้อย่างต่อเนื่อง การขับระบบลำเลียงและใบพัด ใช้กำลังจากเพลลาอำนาจกำลัง (power take off, PTO) ของรถแทรกเตอร์ การผลิตจำหน่ายจะเป็นการผลิตตามสั่ง ราคาประมาณ 80,000 บาท/เครื่อง

2. ทองสุขการช่าง ต.ลำพอน อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ เป็นโรงงานขนาดกลาง ผลิตเครื่องหยอดเมล็ดพืช เครื่องหว่านปุยมูลไก่ผสมเกลบ เครื่องกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ย โดยดำเนินการมาประมาณ 20 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหว่านปุ๋ยมูลไก่ผสมแกลบเป็นแบบใช้รถแทรกเตอร์ลาก (รูปที่ 2.16) ระบบลำเลียงปุ๋ยเป็นเกลียว ลำเลียงนำปุ๋ยไปสู่ด้านท้าย โดยมีใบพัดทำหน้าที่หมุนหว่านกระจายปุ๋ย การปรับอัตราปุ๋ยทำโดยการ ปรับช่องเปิดด้านท้าย ระบบลำเลียงแบบเกลียวลำเลียงมีข้อเสียคือ มักจะเกิดการ อัดตัวของปุ๋ย และต้อง ใช้ไม้กระทุ้งให้ปุ๋ยเคลื่อนตัว สำหรับปัญหาการอัดตัวของปุ๋ย ได้มีการออกแบบใบกวานปุ๋ยด้านบน เกลียวลำเลียง แต่ก็ยังคงมีการอัดตัวของปุ๋ย การขับระบบลำเลียงและใบพัด ใช้กำลังจากเพลลาอำนาจ กำลัง (Power take off , PTO) ของรถแทรกเตอร์ การผลิตจำหน่ายจะเป็นการผลิตตามสั่ง ราคาประมาณ 50,000 บาท/เครื่อง

3.ร้านคูชชัย 1999 จ.กาญจนบุรี เป็น โรงงานขนาดใหญ่ เครื่องจักรกลครบชุดตัว เครื่องหว่านปุ๋ย คอกโดยดำเนินการมาประมาณ 30 ปี

เครื่องหว่านปุ๋ยคอกที่ผลิตเป็นแบบหว่านมูลวัวและควายซึ่งมีขนาดปุ๋ยเป็นก้อนใหญ่(รูปที่2.17) ราคาเครื่องละ 220,000 บาท มีข้อมูลของเครื่อง ดังนี้(สุทธิพร และคณะ,2542)

- ชนิดคอกพวงท้ายรถแทรกเตอร์
- บังคับการทำงานด้วยเพลลาอำนาจกำลังจากตัวรถแทรกเตอร์
- ตัวถังทำด้วยเหล็กขนาดความยาว 3,900 มม. ความกว้าง 1,800 มม.ความสูงกระบะ 450มม. สามารถบรรจุปุ๋ยได้ 4,000 กก.
- มีคันบังคับแกนเหวี่ยงเพื่อปรับปริมาณปุ๋ยคอกได้กว้าง 4,000 มม.
- มีแผงตะแกรงนิรภัย เพื่อป้องกันอันตรายจากเศษหิน
- แบบ 2 ล้อ
- ระบบลำเลียงปุ๋ย ใช้ระบบ โซ่ลำเลียงและครีบลูกตัวซี (C) เลื่อนตามพื้นที่กระบะ
- ระบบหว่านปุ๋ย ใช้ระบบครีบลูกกลมเหวี่ยงให้ปุ๋ยกระจายออกด้านท้ายกระบะ
- ปรับอัตราการหว่านปุ๋ยได้ 5 ระดับ ประมาณ 540 , 760 , 925 , 1520 และ 2050 กก./นาที่
- สมรรถนะการทำงาน 12.9 ไร่/ชม. ความกว้างในการหว่านเฉลี่ย 5 เมตร

2.6 เครื่องใส่ปุ๋ยในสวนปุยยางพารา

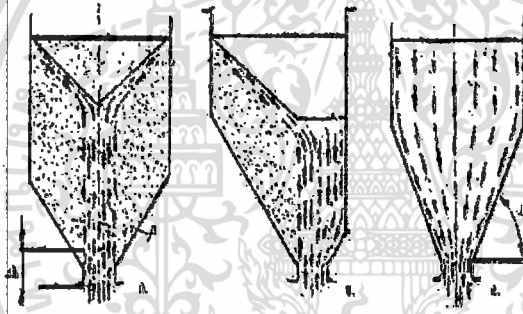
ผลงานวิจัยของมงคล ธราพันธ์และคณะ,2547 ได้พัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยยางพารา ซึ่งต่อพ่วงกับ รถแทรกเตอร์ มาเป็นแบบลากจูงมีรถไถเดินตามเป็นต้นกำลัง ลักษณะการทำงานจะมีการเปิดหน้าดิน โรยปุ๋ย กลบ มีเกลียวลำเลียงเป็นอุปกรณ์การโรยปุ๋ย ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 700 รอบต่อนาที ที่ เกียร์ 1 ผานเปิดร่องทำมุม 30 องศากับทิศทางการเคลื่อนที่ สามารถเปิดร่องได้ลึก 52.3มิลลิเมตร ประสิทธิภาพการโรยปุ๋ย 97% หรือจ่ายปุ๋ยได้ 485 กรัมต่อต้น สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1/8 ลิตรต่อไร่ ความสามารถทำงาน ได้จริง 5ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพภาพรวมของเครื่องโรยปุ๋ยยางพารา 95.97%

2.7 ทฤษฎีในการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่องหว่าน

การออกแบบและสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยเพื่อที่จะนำมาใช้งานให้ได้นั้นจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในองค์ประกอบหลาย ๆ ด้าน ซึ่งมีอิทธิพลต่อการทำงานและมีความสำคัญกับการออกแบบเครื่องเพื่อสามารถใช้งานได้จริง ส่วนประกอบที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ ในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย ได้แบ่งเครื่องหว่านปุ๋ยออกเป็น 4 ส่วนตามลำดับ ได้แก่ ถังบรรจุ อุปกรณ์จ่ายปุ๋ย อุปกรณ์หว่านปุ๋ย (จานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การลำเลียงวัสดุด้วยลม) และได้ตรวจสอบทฤษฎีของแต่ละส่วนก่อนจะมีการสร้าง

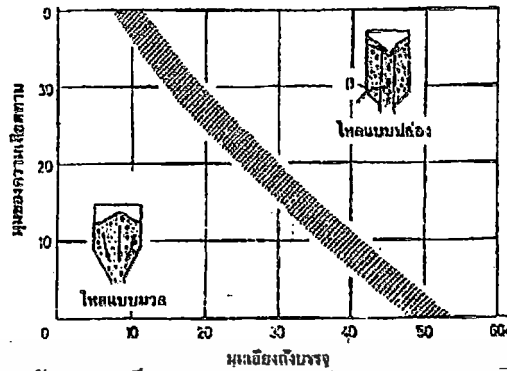
2.7.1 หลักการออกแบบถังบรรจุ (Hopper)

Hopper คือ อุปกรณ์ที่ทำให้การไหลของวัสดุเม็ดผ่านช่องเปิด มีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการไหลของวัสดุ เช่น การไหลออกของปุ๋ยจากถังอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งการคำนวณการไหลออกของปุ๋ยนี้ ไม่สามารถใช้ทฤษฎีการไหลของของเหลวมาใช้ในการคำนวณได้ วยทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุแบบเม็ดมีความแตกต่างจากของเหลว



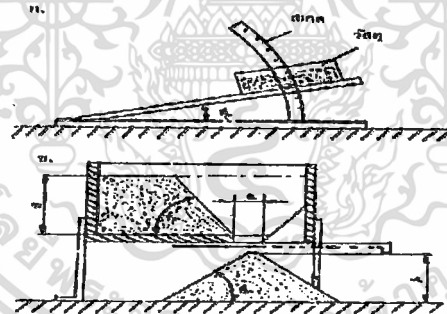
รูปที่ 2.12 การไหลของวัสดุเม็ดออกจากถัง
ที่มา: ปานมนัส สิริสมบูรณ์และคณะ, 2538

จากรูปที่ 2.12 แสดงลักษณะการไหลของวัสดุเม็ดออกจากถังเมื่อมุมเอียงของถังที่ทำกับแนวราบ (α) มีค่าน้อยกว่าลักษณะการไหลเป็นแบบปล่อง (funnel flow) (รูปที่ 2.12 ก.) โดยวัสดุไหลเป็นแนวเหนือช่องเปิดขึ้นการไหลของมวลวัสดุทั้งหมด (mass flow) จะไหลลงสู่ช่องเปิด (รูปที่ 2.12 ค.) ในรูปที่ 2.12 ข. แสดงการไหลของวัสดุที่มีการไหลของวัสดุทั้ง 2 แบบ คือการไหลแบบปล่องและการไหลแบบมวลของวัสดุทั้งหมด ซึ่งรูปแบบการไหลของวัสดุขึ้นอยู่กับความเอียงของถังบรรจุและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุ โดยจากรูปที่ 2.13 ได้แสดงลักษณะการไหลของวัสดุซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเสียดทานของวัสดุกับผนังและมุมเอียงของถังบรรจุ



รูปที่ 2.13 การไหลกับความเสียดทานของวัสดุกับผนังและมุมเอียงของถังบรรจุ
ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญและคณะ, 2538

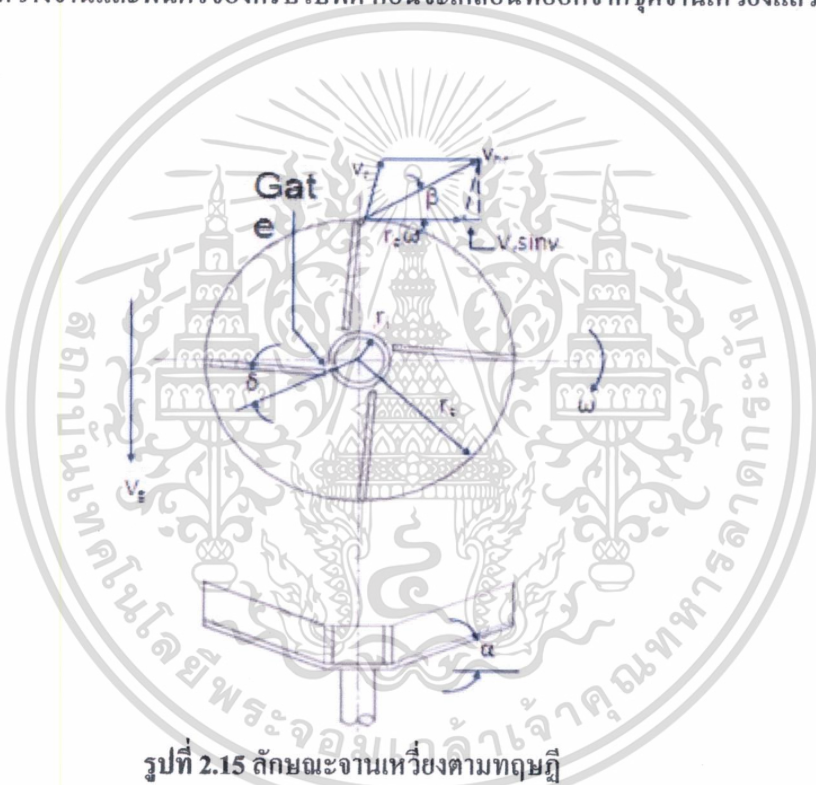
คุณสมบัติความเสียดทานที่สำคัญของวัสดุเม็ดที่กองรวมกัน เช่น เม็ดปุ๋ยได้แก่ มุมของความเสียดทานและมุมกองพื้น มุมของความเสียดทานหมายถึง มุม ที่เกิดจากผลของความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุ โดยที่ $f = \tan \theta$ ซึ่ง f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน θ = มุมของความเสียดทาน ใช้สำหรับหาค่ามุมกองพื้นสถิตของวัสดุ (static angle of repose) โดยนำวัสดุวางบนพื้นเอียงแล้วค่อยๆ ยกแผ่นเอียงขึ้นจนกระทั่งวัสดุเริ่มไหล มุมของแผ่นเอียงคือ มุมกองพื้นวัสดุ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์สำหรับหามุมกองของวัสดุ
ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญและคณะ, 2538

2.7.2 ทฤษฎีงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (ที่มา. Ajit K Srivastava , 1993)

การลำเลียงเมล็ดปุยลงสู่พื้นโดยใช้งานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เม็ดปุยที่ไหลลงมาจากถังบรรจุ จะถูกลำเลียงผ่านชุดกำหนดคปริมาณปุย และตกลงมาตามรางกระทบกับครีบบีพัดของงานเหวี่ยงที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูง ซึ่งมีความเร็วเชิงมุมมาก ทำให้เม็ดปุยเคลื่อนที่จากศูนย์กลางจนไปสู่ปลายขอบงานเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลางก่อนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วทางตรงเท่ากับความเร็วของขอบงาน ($v = \omega r$) แล้วจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วก่อนจะร่วงลงสู่พื้น ทฤษฎีนี้ (ดังรูปที่ 2.21) ถูกใช้ประโยชน์ในการลำเลียงปุย เม็ดปุยตกผ่านรางลงสู่งานเหวี่ยงที่กำลังหมุน สำหรับสมการการเคลื่อนที่ของปุยบนงานเหวี่ยง หาได้จากปุยสิ้นไถลระหว่างงานและพื้นผิวของครีบบีพัด ก่อนจะเคลื่อนที่ออกจากชุดงานเหวี่ยงแล้วร่วงลงสู่พื้น



รูปที่ 2.15 ลักษณะงานเหวี่ยงตามทฤษฎี

ที่มา. Ajit K Srivastava , 1993.

θ เป็นระยะทางเชิงมุมที่งานเหวี่ยงหมุนไปโดยนับตั้งแต่ปุยร่วงจากจุดปล่อย (r_0) จนวิ่งออกไปปลายครีบบนงาน (r_1) หาได้จากสมการต่อไปนี้ (Ajit K. Srivastava, 1993)

$$f(\theta) = \frac{r_0 \frac{c_3 g}{c_4 \omega^2}}{c_4 r_1 - \frac{c_3 g}{c_4 \omega^2}} = \frac{(c_1 + f)e^{c_2(c_1 - f)\theta} + (c_1 - f)e^{c_2(c_1 + f)\theta}}{2c_1} \quad (2.1)$$

หลังจากที่ได้มุม θ แล้วสามารถหาความเร็วของเม็ดปุยที่กระทำโดยครีบบีพัด

$$v_r = \frac{\omega}{2c_1} + \left(c_5 r_1 - \frac{fg}{\omega^2} \right) (e^{c_2(c_1 - f)\theta} - e^{-c_2(c_1 + f)\theta}) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	v_r	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของเม็ดยูกับจานเหวี่ยง
	f	=	ค่าความเสียดทานระหว่างจานเหวี่ยงและเม็ดยู
	g	=	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2
	C_1	=	$(f^2 + c_4 / c_2)^{0.5}$
	C_2	=	$\cos \alpha$
	C_3	=	$\sin \alpha + f \cos \alpha$
	C_4	=	$\cos \alpha - f \sin \alpha$
	C_5	=	$\cos \delta - f \sin \delta$
	r_i	=	รัศมีภายในของครีบบีบอัด (m)
	r_o	=	รัศมีภายนอกของครีบบีบอัด (m)
	ω	=	ความเร็วเชิงมุมของจานเหวี่ยง (rad/s)

ความเร็วตามแนวแกนราบของเม็ดยูเมื่อออกจากจานเหวี่ยง (V_{hr}) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี

$$V_{hr} = \sqrt{(v_r \cos \alpha \cos \gamma)^2 + (r_o \omega + v_r \cos \alpha \sin \gamma)^2} \quad (2.3)$$

และหามุม β ได้จาก

$$\beta = \tan^{-1}(v_r \cos \alpha \cos \gamma / (r_o \omega + v_r \cos \alpha \sin \gamma)) \quad (2.4)$$

$$\text{เมื่อ } \gamma = \tan^{-1}(r_i \tan \delta / (r_o - r_i)) \quad (2.5)$$

สมการต่อไปนี้เป็นการศึกษาหาระยะทางตามแนวแกนราบและแนวแกนตั้งหรือความสูงจากพื้นถึงจานเหวี่ยงเมื่อเม็ดยูเคลื่อนที่ออกจากจานเหวี่ยงผ่านอากาศ (Goering et al., 1972; Pittetal., 1982)

$$h = -C_6 h \sqrt{h^2 + z^2} \quad (2.6)$$

$$\text{และหาค่า } z \text{ ได้จาก } z = g - C_6 z \sqrt{h^2 + z^2} \quad (2.7)$$

เมื่อ h = ระยะทางตามแนวราบ (m)

z = ระยะทางตามแนวตั้ง (m)

$$C_6 = 0.5 C_D \rho \alpha A_p / m$$

g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2

A_p = พื้นที่ภาพฉายซึ่งอยู่ข้างหน้าของเม็ดยู (m)

m = มวลของเม็ดยู (kg)

$\rho \alpha$ = ความหนาแน่นโดยมวลของอากาศ (kg/m^3) = $(29p_b / (8.314 \theta \alpha))$

$\theta \alpha$ = อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$) + 273 = K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดกลมเดี่ยวบน h หรือ z บอกให้ทราบว่าเป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลา (ความเร็ว) ขณะที่ 2 จุดเป็นอนุพันธ์อันดับที่สอง ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลื่อน (c_D) แปรผันกับค่า Reynold's number สมการในการหาค่า c_D หาได้ดังนี้ (Eisner, 1930)

ค่า Reynold's number หาได้จากสมการ

$$C_D = \frac{24}{N_{re}} \quad \text{สำหรับ } N_{re} \leq 1$$

$$C_D = \frac{24}{(26.38N_{re}^{-0.845} + 0.49)} \quad \text{สำหรับ } N_{re} > 1$$

$$N_{re} = \rho_a v_p d_p / \mu_a$$

เมื่อ

$$N_{re} = \text{dimensionless Reynold's number}$$

$$V_p = \text{ความเร็วของเม็ดฝุ่น (m/s)}$$

$$d_p = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาค (m)}$$

$$\mu_a = \text{ความหนืดทางพลศาสตร์ของอากาศ (NS/m}^2\text{)}$$

เมื่อความดันบรรยากาศ เป็นแบบเปิดค่าความหนืดของอากาศจะเป็นฟังก์ชันเพียงอย่างเดียวของอุณหภูมิของอากาศ

$$\mu_a = 4.79 \times 10^{-6} \times e^{0.678 + 0.00227 \theta_a} \quad (2.8)$$

หาเวลาของอนุภาคเมื่อตกถึงพื้น

$$t = \frac{\ln(\text{Arg} \sqrt{\text{Arg}^2 - 1})}{2C_6 C_7} \quad (2.9)$$

เมื่อ

$$\text{Arg} = 2e^{((2C_6 Z) - 1)} \quad (2.10)$$

$$C_7 = (g/C_6)^{0.5} \quad (2.11)$$

ระยะทางในแนวแกนราบระหว่างเวลาที่ตกพื้น หาได้จาก

$$h = \frac{\ln(C_6 h_0 t + 1)}{C_6} \quad (2.12)$$

เมื่อ

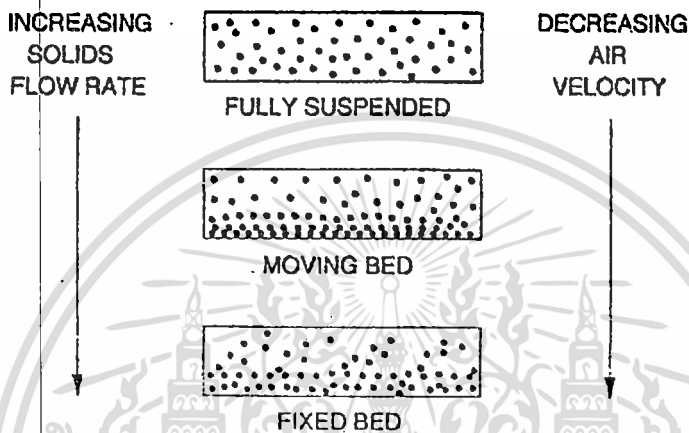
$$t = \text{เวลาของอนุภาคเมื่อตกถึงพื้น}$$

$$h_0 = \text{ความเร็วเริ่มต้นในทิศทางในแนวราบ}$$

2.7.3 หลักการลำเลียงวัสดุด้วยลม (Pneumatic Conveyor) (ที่มา: Srivastava A.K., 1993)

เมื่ออนุภาคถูกปล่อยเข้าสู่กระแสอากาศที่ไหลอยู่ในท่อ อนุภาคจะถูกพัดด้วยกระแสอากาศตามหลักอากาศพลศาสตร์ ถ้าความเร็วอากาศมีมาก อนุภาคจะมีความเร่งและแรงเฉื่อยจะลดลง เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอากาศและอนุภาคมีค่าลดลง เมื่ออนุภาคถูกลำเลียงแรงเฉื่อยจะชนะแรงโน้มถ่วง อนุภาคจะเกิดการชนกันเองและบางอนุภาคจะชนกับผนังท่อ เมื่อปริมาณของอนุภาคในท่อเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการลำเลียงสูงขึ้นและแรงต้านทานที่กระทำกับกระแสอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าอัตราการลำเลียงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สุดท้ายก็จะมาถึงจุดที่อนุภาคไม่ประพฤติตัวเหมือนเดิมคืออนุภาคจะจับกัน

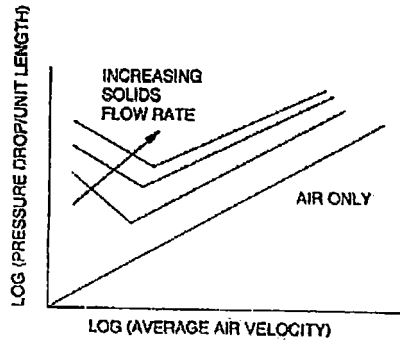
เป็นก้อนและอุดกันขัดขวางการไหล ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบแขวนลอยอย่างคงรูป (Uniform Suspension) มีชื่อเรียกว่า Dilute Phase และลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Dense Phase จะเกิดขึ้นเมื่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีการจับกันเป็นก้อนการลำเลียง วัสดุจะเกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ Dilute Phase และบางทีก็เรียกว่า Lean Phase (ดังรูปที่ 2.16)



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของอนุภาค

ที่มา: Alit K. Srivastava, 1993..

รูปที่ 2.17 แสดงความดันลดลง (Pressure drop) ต่อหน่วยความยาวเปรียบเทียบกับความเร็วของกระแสอากาศ เมื่อวัสดุมีอัตราการไหลเชิงมวลต่างกันในส่วนเริ่มต้นของกราฟ ค่าความดันสูญเสียมีการลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของกระแสอากาศเมื่อเพิ่มความเร็วถึงค่าหนึ่ง ค่าความดันสูญเสียก็มีการเพิ่มขึ้นตามความเร็ว จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวที่ปรากฏอยู่ในกราฟ คือจุดที่แยก Dense Phase และ Dilute Phase จากกัน โดยจุดดังกล่าวจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคต่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ โดยทั่วไป $\frac{\text{อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาค}}{\text{อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ}}$ ที่มีค่าน้อยกว่า 15 จะส่งผลให้รูปแบบการไหลเป็น Dilute Phase จุดต่ำสุดในกราฟแสดงความเร็วต่ำสุดที่จะทำให้เกิดการไหลแบบ Dilute Phase ในอัตราการไหลเชิงมวลต่างๆ



รูปที่ 2.17 ความดันลดลงเปรียบเทียบกับความเร็วของกระแสอากาศ

ที่มา: Ajit K. Srivastava, 1993

ในระหว่างการลำเลียงอนุภาคของแข็งจะถูกแขวนลอยอยู่ในกระแสอากาศความเร็วสูง บางที่อาจมองในภาพรวมของอนุภาคของแข็งอยู่ร่วมกับช่องว่างซึ่งก็คืออากาศนั่นเองสามารถหาค่า void ratio (e) ได้จากสมการ

$$e = \frac{v - v_s}{v} = 1 - \frac{v_s}{v} \tag{2.13}$$

โดยที่

v_s = ปริมาตรของของแข็ง (m³)

v = ปริมาตร โดยรวม (m³)

ปริมาตรของของแข็งจะได้จากผลรวมของอนุภาคของของแข็งแต่ละอันซึ่งหาได้จาก

$$V = nV_p = \frac{\dot{m}}{\rho_p c} dL \tag{2.14}$$

โดยที่

n = จำนวนของแข็งใน control volume

V_p = ปริมาตรของอนุภาคของของแข็ง (m³)

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของของแข็ง (kg/s)

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง (kg/m³)

c = ความเร็วของอนุภาคของแข็ง (m/s)

dL = ความยาวของท่อลำเลียง (m)

สามารถหาค่าความหนาแน่นของอนุภาคได้จากการแทนที่สมการ 2.14 ใน 2.13 แล้วจะได้สมการดังนี้

$$e = 1 - \frac{\rho^*}{\rho_p} \tag{2.15}$$

โดยที่ ρ^*

= ความหนาแน่นปรากฏของของแข็งขณะลำเลียง (kg/m³) = $(\phi_m v_p)/c$

v = ความเร็วของอากาศ (m/s)

ϕ_m = สัดส่วนอัตราการไหลเชิงมวล = $\dot{m}/(\rho Q)$

Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m³/s)

c = ความเร็วของของแข็ง (m/s)

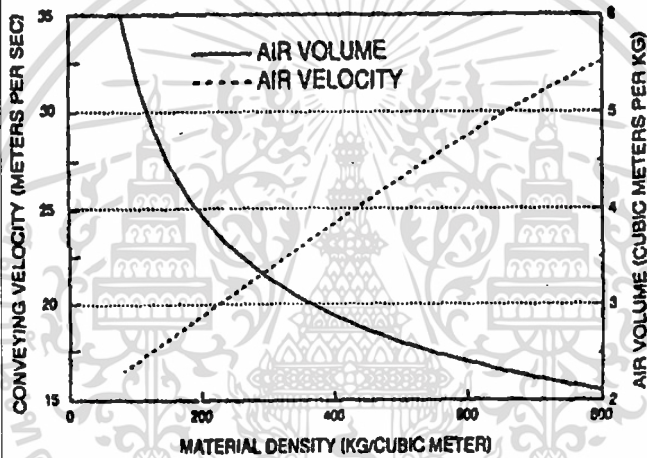
Marcus et al. 1990 คัดค้นสมการหาความเร็วของของแข็งได้ดังนี้

$$\frac{c}{v} = 1 - 0.68d^{0.92} \rho_p^{0.5} \rho^{0.2} D^{0.54} \tag{2.16}$$

โดยที่ d = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m)

การออกแบบการลำเลียงโดยใช้ลม จะต้องทราบความเร็วของอากาศที่ใช้ลำเลียง , ปริมาตรอากาศในการลำเลียง, ผลรวมความดันลดลงและกำลังในการขับ blower ความเร็วของอากาศที่ใช้ในการลำเลียง ขึ้นอยู่กับขนาด , รูปร่างและความหนาแน่นของอนุภาคที่จะทำการลำเลียง ปริมาตรอากาศที่ใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลที่จะทำให้เกิดการลำเลียงแบบ Dilute Phase และ Pressure drop ในการลำเลียงหาได้จากผลรวมหลายๆเทอมดังสมการ

$$\Delta p = \Delta p_L + \Delta p_a + \Delta p_s + \Delta p_g + \Delta p_b + \Delta p_c \tag{2.17}$$



รูปที่ 2.18 ผลอัตราเร็วเฉลี่ยและปริมาณลมที่ความดันต่ำในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

ที่มา: Srivastava A.K , 1993

โดยที่

- Δp = ผลรวมของความดันลดลง (Pa)
- Δp_L = เส้นทางการความดันลดลงของอากาศ (Pa)
- Δp_a = ความดันลดลงจากความเร่งต่ออนุภาค (Pa)
- Δp_s = ความดันลดลงจากการเสียดทานของอนุภาค (Pa)
- Δp_g = ความดันลดลงจากแรงยกในแนวตั้ง (Pa)
- Δp_b = ความดันลดลงจากข้ออในระบพท่อ (Pa)
- Δp_c = ความดันลดลงในระบบต่างๆ (Pa)

เส้นทางความดันลดลงของอากาศหาได้จาก

$$\Delta p_L = \lambda_L \frac{\rho}{2} v^2 \frac{L}{D} \quad (2.18)$$

โดยที่ λ_L = Factor ค่าความต้านทานของอากาศ
 L = ความยาวของท่อในการลำเลียง(m)

ถ้าเป็นการไหลแบบ turbulent จะหา Factor แรงเสียดทานสูญเสียได้จาก

$$\frac{\lambda_L}{4} = 0.0014 + 0.125 R_c^{-0.32} \quad (2.19)$$

ความดันลดลงจากความเร่งต่ออนุภาค(Acceleration pressure drop) หาได้จาก

$$\Delta p_a = \phi_m v \rho c \quad (2.20)$$

ควความดันลดลงจากการเสียดทานของอนุภาค(Pressure drop due to solids) หาได้จาก

$$\Delta p_s = \phi_m \lambda_s \frac{\rho}{2} v^2 \frac{L}{D} \quad (2.21)$$

KonnolและSaito ได้คิดค้นสมการหาความเสียดทานของของขอมแข็ง

$$\lambda_s = \frac{0.0285 \sqrt{gD}}{c} \quad (2.22)$$

ความดันลดลงจากแรงยกในแนวตั้ง (Pressure drop due to lift height) หาได้จาก

$$\Delta p_g = \rho * g \Delta z \quad (2.23)$$

โดยที่ Δz = ความสูงของการยกตัว (m)

Pressure drop due to bends หาได้จากตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ค่า Fitting loss coefficient

FOR TURBULENT FLOW (ASHRAE, 1972)		
Fitting	Geometry	K
Entrance	Sharp	0.5
	Well-rounded	0.05
Contraction	Sharp ($D_2 / D_1 - 0.05$)	0.38
90° elbow	Miter	1.3
	Short radius	0.9
	Long radius	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{eq} = \frac{KD}{\lambda_L} \quad (2.24)$$

โดยที่ K = สัมประสิทธิ์ Fitting loss

การหาความดันลดลงในของแข็งหาได้จากสมการ

$$\frac{\Delta p_{b,solid}}{\rho v^2} = 0.245 \left(\frac{\dot{m}}{\rho v D^2} \right)^{1.267} \left(\frac{R}{D} \right)^{-0.260} \quad (2.25)$$

โดยที่ $\Delta p_{b,solids}$ = pressure drop ของของแข็งในข้อต่อท่อ
 R/D = อัตราส่วนรัศมีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

ตารางที่ 2.12 ค่าความดันลดลง (Pressure drop)

PNEUMATIC CONVEYING ACCESSORIES (NOYES AND PFIEFFER, 1985)	
Accessory	Pressure drop (kpa)
Blower suction	0.7
Inlet filter	0.7
Inlet filter and muffler	1.4
Outlet muffler and check plate	1.4
Discharge cyclone	0.7
Bin vent	1.4
In-line filter	1.4

Power requirements หาได้จาก

$$P = \frac{\Delta p Q}{\eta_b} \quad (2.26)$$

P = กำลังงานของ Blower
 Δp = ผลรวมของ Pressure drop ทั้งระบบ (Pa)
 Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)
 η_b = สัมประสิทธิ์ของ Blower ตั้งแต่ 0.5-0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังงานจำเพาะต่ออัตราการไหลของวัสดุหาได้จาก

$$P' = \frac{P}{m} \quad (2.27)$$

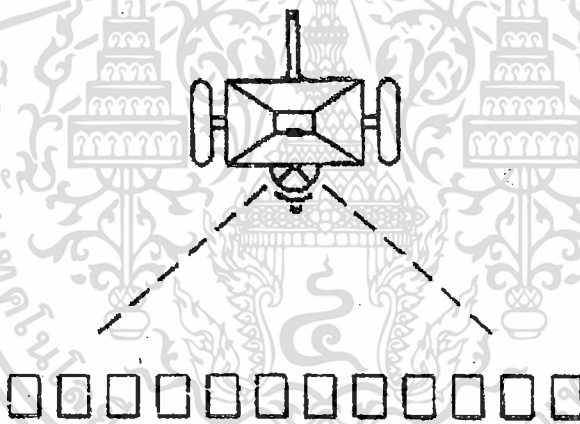
โดยที่ P' = กำลังงานจำเพาะ $W.s/kg$

2.8 หลักการทดสอบประสิทธิภาพการหว่าน

2.8.1 เครื่องหว่านวัสดุที่เป็นเม็ด

การหว่านเม็ดวัสดุให้กระจายบนผิวดินต้องอยู่ภายใต้มาตรฐาน ASAE S341.2 ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ในการพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยจะประเมินได้จากสองตัวแปรคือ

- 1.ความแม่นยำในการจ่ายปุ๋ย
- 2.รูปแบบการกระจายตัวของกรหว่านที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.19 การทดสอบรูปแบบการกระจายตัวของเม็ดวัสดุ

2.8.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

- 1.เครื่องหว่านที่ใช้ในการทดสอบต้องเป็นเครื่องจักรกลที่อยู่ในสภาพที่ดีและมีความเหมาะสม
- 2.การดำเนินการทดสอบเครื่องต้นแบบจะต้องมีการปรับค่าของเครื่องหว่านให้มีความถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะจำเพาะของเม็ดวัสดุที่ใช้หว่าน และจะต้องเป็นสภาพที่เหมือนจริงกับการทดสอบในภาคสนาม

3. ทำการเปรียบเทียบเครื่องต้นแบบตามคำแนะนำและข้อมูลจากผู้ผลิตรายอื่นๆ

4. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะต้องได้มาตรฐาน เช่น ลักษณะของวัสดุ ขนาดจะต้องเป็นรูปแบบเดียวกัน ความจำเป็นของเม็ดวัสดุ ความคงทน ความชื้น ความหนาแน่น ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ มีการรายงานวัสดุ ขนาด รูปร่าง ผิวสัมผัสของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.8.3 แนวทางในการเตรียมการทดสอบ

ความแม่นยำของการทดสอบนั้นจะมีอิทธิพลต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพภูมิอากาศ ขนาดของเม็ดวัสดุที่ใช้ทดสอบ อัตราที่ใช้ ความลาดเอียงของพื้นดิน อัตราเร็วในการเดินรถ ความหยาบของพื้นดิน และวิธีการในการเก็บรวบรวมตัวอย่าง ที่แนะนำในการทดสอบความแม่นยำ ดังต่อไปนี้

1. การหว่านจะเป็นที่ยอมรับเมื่อมีความแรงลม น้อยกว่า 8 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่ความสูงจากพื้นดินเท่ากับ 2.5 เมตร

2. ความลาดเอียงของพื้นที่ใช้ในการทดสอบจะต้องน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ และจะต้องทำการทดสอบทำการเปรียบเทียบที่ระดับความลาดเอียงต่างๆ

3. เครื่องหว่านจะต้องมีการ ทำงาน โดยการหว่านของเม็ดวัสดุที่มีความคงที่และได้เพียงพอกับช่วงเวลา

2.8.4 หลักการหาสมรรถนะของเครื่องจักรกลเกษตร (Field Capacity)

จากหนังสือเครื่องจักรกลเกษตร เล่ม 2 ของรศ.จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์, 2543 ได้กล่าวถึงการหาสมรรถนะของเครื่องจักรกลเกษตรจะต้องพิจารณาประกอบกันระหว่างปริมาณงานที่ได้และคุณภาพของงานในการนำไปใช้งานกับเครื่องปลูกจะศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะเชิงพื้นที่เท่านั้น

2.8.4.1 สมรรถนะเชิงพื้นที่ (Field Capacity) คือความสามารถในการทำงานของเครื่องปลูกในรูปของพื้นที่ต่อหน่วยเวลามีหน่วยเป็นไร่ต่อชั่วโมง หรือเฮกแตร์ต่อชั่วโมง

สมรรถนะเชิงพื้นที่ = ความเร็วในการทำงาน * ความกว้างของเครื่องจักร
ความสามารถทางทฤษฎี (Theoretical Capacity, C_T)

$$C_T = SW \quad (2.28)$$

2.8.4.2 ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่ (Effective Field Capacity, C)

$C = SWe / \text{Constant}$, เมื่อทราบประสิทธิภาพในการทำงาน

หรือ = พื้นที่ทำงาน / เวลาในการทำงาน (2.29)

2.8.4.3 ในกรณีของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ปฏิบัติงานตามปกติโดยไม่มีการหยุดพัก หรือเสียหายเนื่องจากสาเหตุที่คาดไม่ถึงความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่สามารถหาได้ดังนี้

$$C = \frac{SwLEw}{C_1L + DSWLEw + C_2St} \quad (2.30)$$

2.8.4.4 ประสิทธิภาพในการทำงาน (Field efficiency)

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{\text{ความสามารถในการทำงานจริง}}{\text{ความสามารถทางทฤษฎี}} \times 100 \quad (2.31)$$

ค่าตัวแปรต่างๆ แสดงได้ดังนี้

- C = ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่(แฮกแตร์/ชั่วโมง,ไร่/ชั่วโมง)
 S = ความเร็วในการขับเคลื่อน(กิโลเมตร/ชั่วโมง)
 W = หน้ากว้างในการทำงาน
 e = ประสิทธิภาพในการทำงานในพื้นที่, ทศนิยม
 $C_1 = 1.6$, เมื่อ C มีหน่วยเป็น ไร่/ชั่วโมง
 $= 10$, เมื่อ C มีหน่วยเป็น แฮกแตร์/ชั่วโมง
 $E_w =$ ความกว้างจริงในการทำงานของเครื่องจักร
 D = เวลาที่สูญเสียโดยไม่ได้ปฏิบัติงาน (ชั่วโมง/แฮกแตร์)
 L = ความยาวของพื้นที่ (เมตร)
 t = เวลาในการเลี้ยวกลับ(วินาที/การเลี้ยวโค้งหนึ่งครั้ง)
 $C_2 = 2.78$, เมื่อ C มีหน่วยเป็น แฮกแตร์/ชั่วโมง
 $= 0.44$, เมื่อ C มีหน่วยเป็น ไร่/ชั่วโมง

2.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำเครื่องจักรกลเกษตรไปใช้งาน

จากหนังสือเครื่องจักรกลเกษตร เล่ม 2 ของจิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์, 2543 กล่าวว่า การจัดการเครื่องจักรกลเกษตรคือ การทำกำไรให้มากที่สุดโดยการใช้เครื่องจักรกลให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ค่าใช้จ่ายแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้ งานของ เครื่องจักร ซึ่งประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคา ดอกเบี้ยจากการลงทุนซื้อเครื่องจักร ภาษีโรงเรือน และเบี้ยประกัน สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่มีกรณีเก็บ ภาษีการใช้เครื่องจักรกลเกษตร ยังไม่นิยมที่จะทำการประกันเครื่องมือเหล่านี้ และการเก็บรักษาเครื่องจักรกลเกษตรขนาดเล็กมักจะเก็บไว้ ชั้นล่างของบ้านหรืออาคารอื่นๆที่ไม่ใช้งาน จึง สามารถตัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ไปได้ ส่วนกลุ่มที่สองเป็นค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้งาน ประกอบด้วย น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น ค่าบำรุงรักษา ค่าต้นกำลัง และค่าแรงงาน

วิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายมี 2 วิธีคือ แบบปกติ และ แบบประมาณ

การคำนวณตามปกติ จะเป็นการแยกการคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนแล้วนำมารวมกันตามเงื่อนไขการใช้งานของเครื่องจักรแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

1. การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่

ซึ่งประกอบไปด้วยค่าเสื่อมราคา ดอกเบี้ยจากการลงทุนซื้อเครื่องจักร ภาษีโรงเรือน และเบี้ยประกัน

1.1 การคำนวณค่าเสื่อมราคา

ก) วิธีเส้นตรง (Straight-Line Method)

$$D = \frac{P - S}{L} \quad (2.32)$$

โดย

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี

P = ราคาแรกซื้อ

S = ราคาเมื่อหมดอายุ 10% ของราคาแรกซื้อ

L = อายุการใช้งาน(ปี)

ข) วิธีขอลดลง (Declining-Balance Method)

$$D = V_n - V_{n+1}$$

$$V_n = P \cdot \left(1 - \frac{x}{L}\right)^n \quad (2.33)$$

โดย

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี

P = ราคาแรกซื้อ

V_n = มูลค่าเครื่องจักรในปีที่ n

x = ค่าคงที่ซึ่งอยู่ในช่วง [1,2] เป็นค่าแสดงสัดส่วนในการคำนวณอัตราการเสื่อม

ราคา

ค) วิธีรวมเลขของปี (Sum-of-the-Years-Digits Method)

$$D = \frac{L - n}{YD} \cdot (P - S) \quad (2.34)$$

โดย

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี

P = ราคาแรกซื้อ

- S = ราคาเมื่อหมดอายุ 10%ของราคาแรกซื้อ
 L = อายุการใช้งาน(ปี)
 n = ปีที่ n
 YD = ผลรวมเลขปี (1+2+3+...+L)

ง)วิธีทุนจม (Sinking-Fund Method)

$$V_n = (P - S) \cdot \left[\frac{(1+i)^L - (1+i)^n}{(1+i)^L - 1} \right] + S \quad (2.35)$$

$$SFP = (P - S) \cdot \frac{i}{(1+i)^L - 1}$$

โดย

- V_n = มูลค่าเครื่องจักรเมื่อหมดปีที่ n
 P = ราคาแรกซื้อ
 S = ราคาเมื่อหมดอายุ 10%ของราคาแรกซื้อ
 L = อายุการใช้งาน(ปี)
 I = อัตราดอกเบี้ย(ทศนิยม)
 SFP = จำนวนเงินสำรองในแต่ละปี

1.2 การคำนวณดอกเบี้ยจากการลงทุน

ดอกเบี้ยของเงินลงทุนเพื่อซื้อเครื่องจักรกลคิดรวมอยู่ในค่าใช้จ่ายคงที่ เนื่องจากเงินดังกล่าวไม่
 ออานำไปใช้ในกิจการอื่นได้อีก โดยอัตราดอกเบี้ยที่แนะนำคือ 8% ค่าดอกเบี้ยเงินลงทุนต่อปี คำนวณ
 จากเงินลงทุนเฉลี่ยของเครื่องจักรกลตลอดอายุการใช้งานดังสมการ

$$I = \frac{1}{2} \cdot (P + S) \cdot i \quad (2.36)$$

โดย

- I = ดอกเบี้ยในการลงทุนต่อปี
 i = อัตราดอกเบี้ย(ทศนิยม)
 P = ราคาแรกซื้อ
 S = ราคาเมื่อหมดอายุ 10%ของราคาแรกซื้อ

1.3 ภาษี อัตราภาษีที่แนะนำ 1-2% ของราคาแรกซื้อ

1.4 เมื่ยประกัน เพื่อประกันความเสียหายของเครื่องจักรกลเนื่องจากการสูญหาย และเพลิงไหม้
 คิดอัตรา 0.25 – 0.50% ของราคาแรกซื้อ

1.5 ไร่โรงเรียน อัตราที่แนะนำคือ 0.1 – 1%ของราคาแรกซื้อ

2. คำนวณค่าใช้จ่ายผันแปร

ค่าใช้จ่ายเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น ค่าบำรุงรักษา ค่าต้นกำลัง และค่าแรงงาน เหล่านี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการใช้งาน การคำนวณค่าใช้จ่ายจะคิดต่อหน่วยเวลา (ชั่วโมง) ของการใช้งาน

การคำนวณค่าใช้จ่ายโดยประมาณ เป็นการคำนวณแบบประมาณค่า ดังนั้นจึงคำนวณค่าเสื่อมราคาด้วยวิธีการแบบเส้นตรงก็เพียงพอ แล้วนำไปรวมกับ ดอกเบี้ยเงินลงทุน ภาษีโรงเรือน และเบี้ยประกันเข้าด้วยกัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรกซื้อ เรียกวิธีนี้ว่า “เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายคงที่ต่อปี (annual fixed cost percentage)” จะได้สมการค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อปีดังนี้

$$AC = \frac{(FC\%) \cdot P}{100} + \frac{c \cdot A}{S \cdot W \cdot e} [(R \& M) \cdot P + L + O + F + T] \quad (2.37)$$

AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการใช้งานเครื่องจักร/ปี (บาท/ปี)

FC% = ค่าใช้จ่ายคงที่ต่อปี

P = ราคาแรกซื้อของเครื่องจักร

c = ค่าคงที่ (10)

A = พื้นที่ (แกลกแตร)

S = ความเร็วเครื่องจักรขณะทำงาน (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

W = ความกว้างในการทำงานของเครื่องจักร (เมตร)

e = ประสิทธิภาพทางไร่ (ทศนิยม)

R&M = ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา, ทศนิยมของราคาแรก (บาท/ชั่วโมง)

L = อัตราการจ้างแรงงาน (บาท/ชั่วโมง)

O = ค่าน้ำมันหล่อลื่น (บาท/ชั่วโมง)

F = ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/ชั่วโมง)

T = ค่าใช้จ่ายสำหรับต้นกำลัง

การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนโดยวิธี Undiscounted

วิธีนี้ไม่พิจารณาระยะเวลาที่เกิดขึ้นของค่าใช้จ่าย กำไรและการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินเมื่อเทียบกับระยะเวลา แบ่งได้เป็น 2 วิธีการ

Break-even point (BEP) คือระดับการลงทุนที่ไม่ทำให้เกิดการขาดทุนหรือกำไรเรียกได้ว่า Break-even point คือจุดที่ระบุปริมาณการใช้งานเครื่องจักรกลให้คุ้มกับค่าใช้จ่ายสุทธิต่อปี

- รายรับทั้งหมด คือ รายได้จากการนำเครื่องจักรไปรับจ้างในอัตรารับจ้าง (บาท/ไร่ หรือบาท/ชั่วโมง) ทำงานในปริมาณ (ไร่/ปี หรือ ชั่วโมง/ปี)

- รายจ่ายทั้งหมดคือ ผลรวมของค่าใช้จ่ายคงที่ต่อปี (FC) กับค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปี ($VC \times X$)
เมื่อ VC มีหน่วยเป็น บาท/ไร่ หรือบาท/ชั่วโมง ทำงานในปริมาณ X ไร่/ปี หรือ ชั่วโมง/ปี

BEP คือจุดที่กำไรสุทธิเป็นศูนย์

$$\text{รายรับทั้งหมด} - \text{รายจ่ายทั้งหมด} = \text{กำไรสุทธิ} = 0$$

$$\text{รายรับทั้งหมด} = \text{รายจ่ายทั้งหมด}$$

$$B \times X = FC + (VC \times X)$$

$$\therefore X = \frac{FC}{B - VC} \quad (2.38)$$

จากสมการดังกล่าวสามารถประยุกต์หาขนาดพื้นที่หรือชั่วโมงทำงานให้คุ้มค่ากับการจัดการเครื่องจักรกลเกษตรดังนี้

$$\text{ขนาดพื้นที่ } \dots \text{ เหมาะสมในการเป็นเจ้าของเครื่องจักร} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่ต่อปี (เฉลี่ย)}}{\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายผันแปร}} \quad (2.39)$$

โดย อัตราจ้าง และ ค่าใช้จ่ายแปรผันมีหน่วยเป็น (บาทต่อพื้นที่)

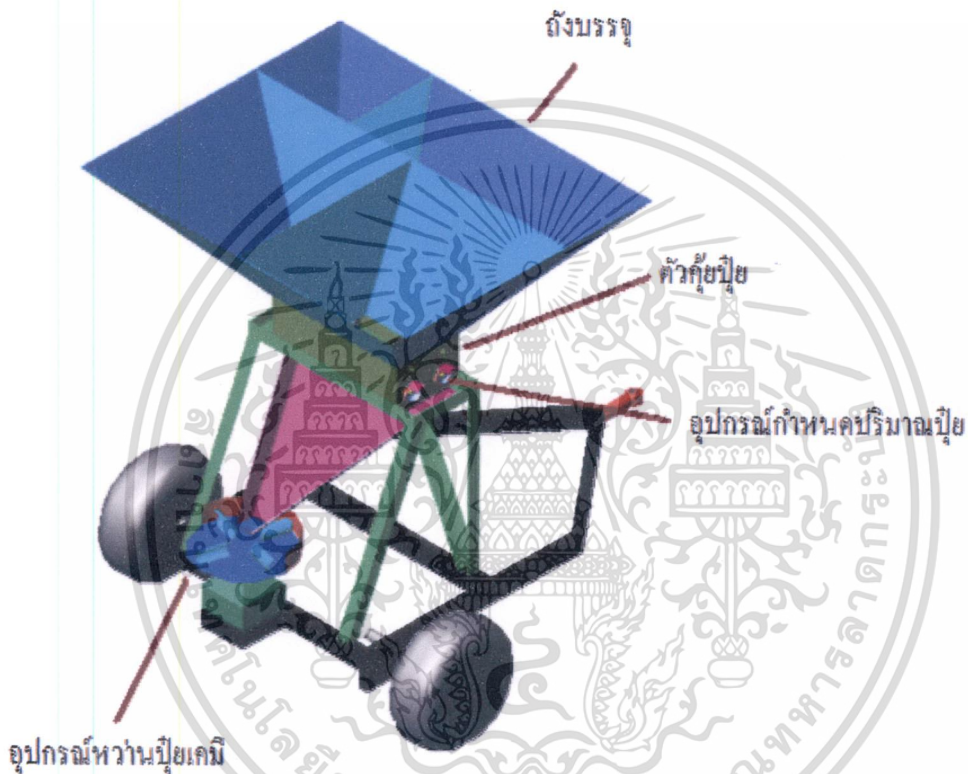
Payback period (PBP) เป็นการวิเคราะห์เพื่อประเมินระยะเวลาที่ใช้ในการสะสมของผลกำไรที่เกิดจากการลงทุน จนกระทั่งผลกำไรที่เกิดขึ้นสะสมจนมีมูลค่าเท่ากับเงินลงทุนครั้งแรก การลงทุนที่มี Payback period สั้นถือว่าดี

$$\text{PBP} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการเป็นเจ้าของเครื่อง}}{\text{กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (2.40)$$

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี

ในบทนี้จะแสดงถึงองค์ประกอบต่างๆ สิ่งที่มีผลในการออกแบบและสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี ส่วนวิธีการคำนวณจะแสดงไว้ในภาคผนวก โดยในการ สร้าง ได้แบ่งเครื่องหว่านปุ๋ย ออกเป็นส่วน ๆ เริ่มจากถังบรรจุ อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย และอุปกรณ์หว่านปุ๋ยเคมี ดังรูป



รูปที่ 3.1 เครื่องหว่านปุ๋ยที่ออกแบบ

การออกแบบเบื้องต้นได้ตั้งสมมุติฐานไว้ดังนี้ เครื่องหว่านปุ๋ยจะทำงาน โดยได้รับต้นกำลัง จากเพลาอำนาจกำลัง (PTO) ของรถแทรกเตอร์ขนาด 40 แรงม้า เป็นต้นกำลังและลากเครื่องหว่าน ปุ๋ย ได้กำหนดความเร็วรถทางตรงในขณะการทำงาน 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีหน้ากว้างในการทำงาน (หน้ากว้างในการหว่านปุ๋ย)ไม่น้อยกว่า 15.6 เมตร เพื่อครอบคลุมแถวปลูกปาล์ม 2 แถว ความหนาแน่นในสวนปาล์มน้ำ มัน 22 ต้น/ไร่ ระยะห่างระหว่างต้น 9 เมตร และกำหนดการให้ปุ๋ย สำหรับปาล์มโตเต็มวัยโดยแบ่งการให้เป็น 3 ครั้งคือ 50% , 25% และ 25% ของปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่ ในหนึ่งปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะและรูปร่างของปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบ ก่อนการทดสอบเรามาดูลักษณะ และรูปร่าง
ทางกายภาพของปุ๋ยเคมีทั้ง 5 ชนิดดังในรูปที่ 3.2 เป็น



รูปปุ๋ยยูเรีย

รูปไดแอม โมเนียมฟอสเฟต

รูปโพแทสเซียมคลอไรด์



รูปปุ๋ยแมกนีเซียม

รูปปุ๋ยโบรอน

รูปที่ 3.2 ลักษณะของเคมีทั้ง 5 ชนิด

Dp คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mean diameter) ของปุ๋ยซึ่ง

ยูเรีย (Urea)	3.24 mm
ไดแอม โมเนียมฟอสเฟต(DAP)	3.23 mm
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	1.80 mm
แมกนีเซียม (Mg)+ โบรอน (B)	0.51 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Dp) รวม	8.78 mm

Mass fertilizer flow rate ที่ ป่าล้มต้องการ 50% คือ

ยูเรีย (Urea)	0.25 kg/s
ไดแอม โมเนียมฟอสเฟต (DAP)	0.16 kg/s
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	0.43 kg/s
แมกนีเซียม (Mg)+ โบรอน (B)	0.12 kg/s
รวม	0.96 kg/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การคำนวณหาปริมาณปุ๋ยที่ใช้

เป็นการหาปริมาณปุ๋ยที่ต้นปาล์มน้ำมันต้องการใช้ตลอดทั้งปี โดยจะมีการให้ ปุ๋ยตามคำแนะนำของ ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ , 2544 การใช้ปุ๋ยสำหรับปาล์ม น้ำมัน (ฉบับพกพา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งสนับสนุนโครงการโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ได้แสดงปริมาณความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มในโตเต็มวัยไว้ในตารางที่ 3.1 เมื่อนำเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีมาใช้ ต้องมีการคำนวณหาปริมาณความต้องการของปุ๋ยเคมีเมื่อวิ่งผ่าน ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงเวลา 1 นาทีที่วิ่งผ่านต้นปาล์มต้องการปุ๋ยเป็นปริมาณเท่าใด

ตารางที่ 3.1 ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์ม โตเต็มวัย

ชนิดปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ย (กรัม/ต้น/ปี)		
	100%	50%	25%
ยูเรีย (Urea)	1,514.13	757.06	378.53
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต(DAP)	1,050	525	262.5
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	2,800	1400	700
แมกนีเซียม (Mg)	700	350	175
โบรอน (B)	56	28	14

ตารางที่ 3.2 ผลการคำนวณปริมาณปุ๋ยที่ใช้เวลา 1 นาที

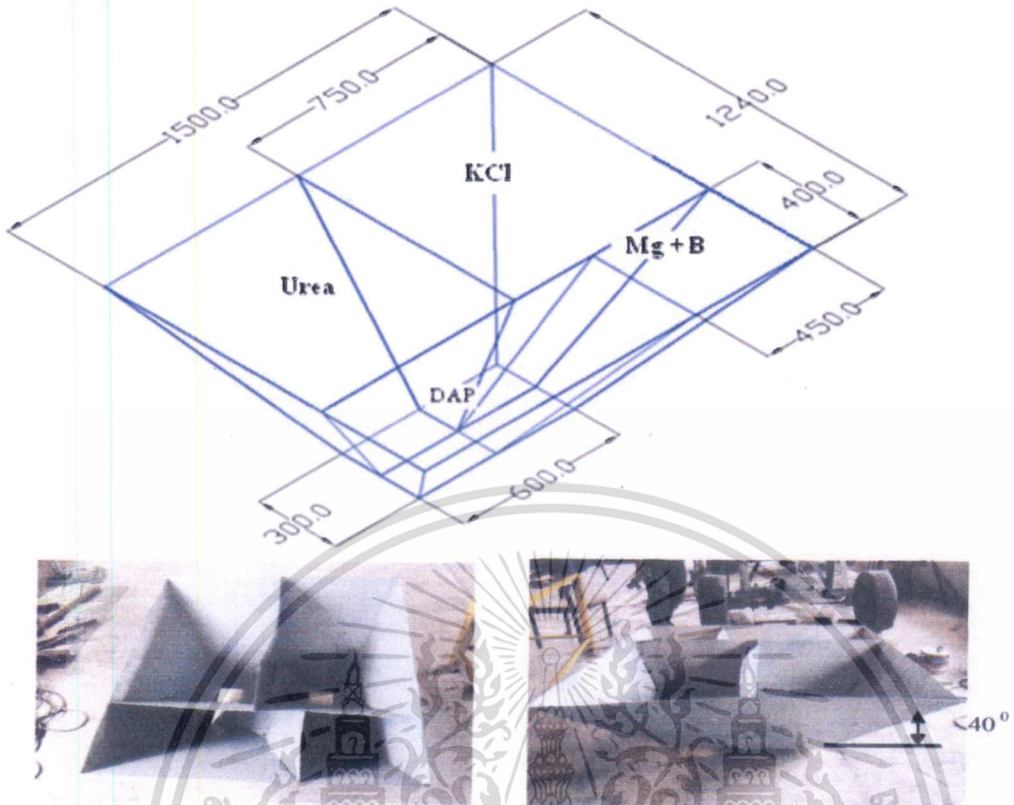
ชนิดปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่ต้นปาล์มต้องการ(kg/min)		
	ครั้งที่ 1(50%)	ครั้งที่ 2(25%)	ครั้งที่ 3(25%)
ยูเรีย (Urea)	13.53	6.77	6.77
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP)	9.384	4.7	4.7
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	25.02	12.5	12.5
แมกนีเซียม (Mg)	6.25	3.128	3.128
โบรอน (B)	0.5	0.25	0.25

3.2 การออกแบบถังบรรจุ (Hopper)

การที่จะออกแบบถังบรรจุได้ ต้องทราบค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดปุ๋ย จากหนังสือสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมวัสดุของ ปานมนัส ศิริสมบูรณ์และคณะ, 2538. ในบทที่ 1 ได้กล่าวแนะนำขั้นตอนและวิธีการทดลองรวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ค่าต่างๆที่มีความสำคัญจนได้มาเป็นจากรายที่ 3.3 เพื่อนำค่าที่หามาได้ไปประกอบกับการคำนวณและออกแบบ อุปกรณ์หว่านเม็ดปุ๋ย รวมถึงการเลือกลักษณะ ของการไหลเม็ดปุ๋ย ในการออกแบบถังบรรจุได้เลือกใช้มุมเอียงที่ 40 องศา

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดปุ๋ย

ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	ยูเรีย (Urea)	ไดแอม โมเนียม ฟอสเฟต (DAP)	โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	แมกนีเซียม (Mg)+โบรอน (B)
มุมลื่นไถลของเม็ดปุ๋ย	25 °	32 °	28 °	31 °
สัมประสิทธิ์ค่าความเสียดทาน	0.466	0.625	0.532	0.601
ความหนาแน่นรวม (kg/m ³)	1118.4	1927.5	1351.2	1670 _{Mg} /1268 _{Bo}
ขนาดของเม็ดปุ๋ย (mm.)	3.24	0.18	3.23	0.75 _{Mg} /0.51 _{Bo}



รูปที่ 3.3 ถังบรรจุ (Hopper) ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา

3.3 ตัวค้ำปุ๋ย (Agitator)

จะทำหน้าที่ช่วยค้ำปุ๋ยที่อยู่ก้นถัง เพื่อให้ปุ๋ยจับตัวกันจนไม่สามารถไหลผ่านช่องผ่านปุ๋ยไปได้ เลือกใช้แบบหมุนซึ่งจะมีใช้กันอยู่ทั่วไปจะมีอยู่ 4 ชุด เพื่อกวานปุ๋ยแต่ละช่อง ได้รับต้นกำลังจากอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device) ตามรูปที่ 3.4



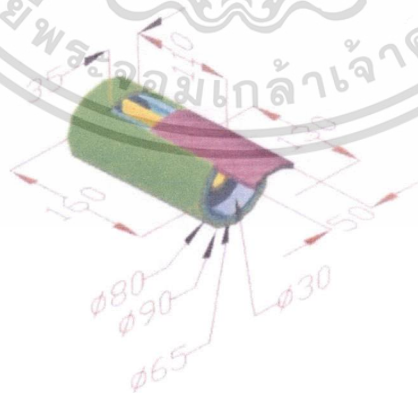
รูปที่ 3.4 ตัวค้ำปุ๋ย (Agitator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device)

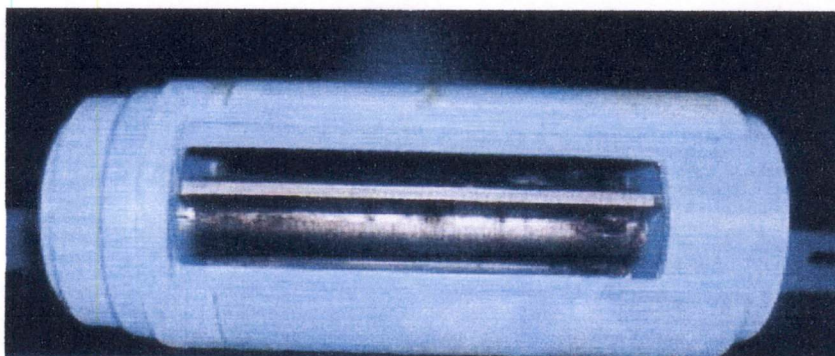
จากหนังสือวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ ของ ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ และคณะ , 2547 ได้กล่าวถึง อุปกรณ์กำหนดปริมาณ ปุ๋ยไว้หลายชนิด ในการออกแบบครั้งนี้ ได้เลือกการออกแบบอุปกรณ์ กำหนดปริมาณปุ๋ยแบบ ลูกกลิ้งเซาะร่อง (Fluted roller feed or Feed wheel) ดังรูปที่ 3.5 (ก.) ซึ่งมีความเหมาะสมกับเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีและเกษตรกรยังสามารถสร้างได้เอง ด้วยการใช้แผ่นเหล็กตั้ง แทนการเซาะร่อง แต่ประสิทธิภาพยังเหมือนเดิม ส่วนช่องรับปุ๋ยจากตัวคู่ปุ๋ยสามารถปรับเปิดได้ ตั้งแต่ 1-11 เซนติเมตรให้เหมาะสมกับความต้องการของปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุและเวลา ดังรูปที่ 3.5 (ข.) ส่วนต้นกำลังในการขับอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย จะใช้ล้อคิน (หมายถึงล้อยาง ที่ติดมากับ รถเทเลเลอร์ และจะทำงานเมื่อรถมีการเคลื่อนตัว) มีการส่งผ่านกำลังโดยใช้โซ่และเฟืองของ รถจักรยานยนต์ (ของเก่า) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป

รูปที่ 3.5 (ก.) อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device)



รูปที่ 3.5 (ข.) อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5(ค.) อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยที่สร้างขึ้นใหม่

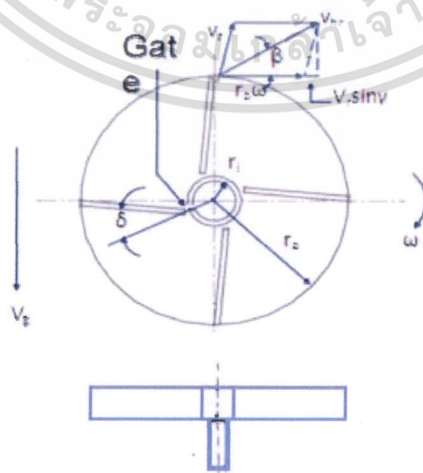
หลังจากได้ออกแบบอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงได้นำท่อพีวีซีที่มีขายในท้องตลาดมาสร้างเป็นอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยดังรูปที่ 3.5(ค.)

3.5 อุปกรณ์หว่านปุ๋ยเคมี (Fertilizer Broadcaster)

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สร้างขึ้นมา 2 แบบได้แก่ แบบที่ 1 ใช้หลักของจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Disc) โดยให้ช่องปล่อยปุ๋ยปล่อยลงในตำแหน่งที่เหมาะสมบนจานเหวี่ยง ส่วนแบบที่ 2 ใช้ลมเป็นตัวกระจายปุ๋ย (Pneumatic Conveyor) เป็นตัวพ่นลมเพื่อกระจายปุ๋ย และมีท่อออกทางด้านข้าง ทั้ง 2 ข้าง

3.5.1 แบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Disc)

การออกแบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะใช้ทฤษฎีของ Ajit K. Srivastava, 1993 ได้เลือกใช้แผ่นแบนราบเพื่อให้สะดวกในการสร้างและดูแลรักษาหรือทำขึ้นมาใช้ใหม่ ส่วนการคำนวณหาระยะการส่งปุ๋ยได้แสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก ก. และผลที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.6 ลักษณะจานเหวี่ยงที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่

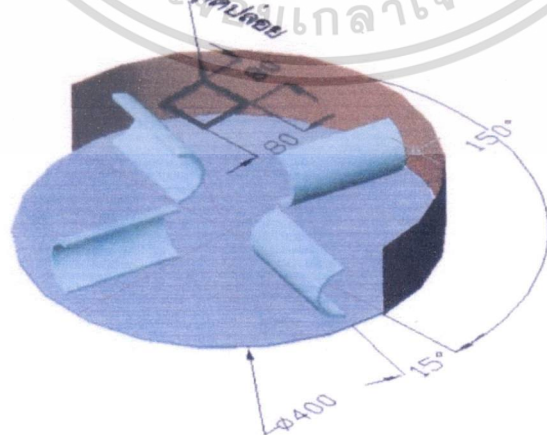
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ผลการคำนวณออกแบบงานเหวี่ยง โดยแสดงตัวแปร $\theta, v_{hr}, \beta, t, h$

ชนิดปุ๋ย	θ (rad)	v_{hr} (m/s)	β (rad)	t (sec)	h (m)
ยูเรีย(Urea)	71.46	33	15	0.372	7.46
ไดแอม โมเนียมฟอสเฟต (DAP)	67.07	32.9	12.87	0.438	1.9
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	69.78	32.95	14	0.37	7.9
แมกนีเซียม (Mg)+ โบรอน(B)	67.76	32.84	13.15	0.382 _{Mg} / 0.588 _{Bo}	4.61 _{Mg} / 0.86 _{Bo}

- θ = ระยะทางเชิงมุมที่งานเหวี่ยงหมุนไปขณะที่ปุ๋ยเคลื่อนที่ลงบนงานเหวี่ยงจนกระทั่งเคลื่อนที่ออกจากงานเหวี่ยง
- V_{hr} = ความเร็วในแนวราบของปุ๋ย (m/s)
- β = ทิศทางของปุ๋ยหลังจากออกจากงานเหวี่ยง
- t = เวลาที่ปุ๋ยใช้ในการเคลื่อนที่ตั้งแต่ออกจากงานเหวี่ยงจนแตะกระทบพื้นดิน (sec)
- h = ระยะทางในแนวราบของปุ๋ยที่เคลื่อนที่ออกจากงานเหวี่ยง (m)

สรุป ในการออกแบบอุปกรณ์หว่านเมล็ดปุ๋ยเคมีงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลางได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของงานเหวี่ยง 40 เซนติเมตรมีคืบ 4 คืบ แต่ละคืบมีความสูง 3.75 เซนติเมตรความยาวของคืบ 12.5 จากแนวเซนติเมตร วางเอียงจากแนวรัศมี 15° และหมุนด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาทีดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะของงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ได้สร้างใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 แบบใช้ลม (Pneumatic Conveyor) จากผลการคำนวณได้ค่าต่างๆ ดังนี้ ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (mean bulk density) ของปุ๋ยทั้ง 4 ชนิดเท่ากับ 1038.25 kg/m^3 ได้กำลังของโบลเวอร์เวอร์ 2.358 kw \approx 3.162 hp จึงนำไปเลือกรุ่น MB 50 ตามตารางที่ 3.5

โบลเวอร์เวอร์ชื่อ VENZ รุ่น MB สามารถให้แรงดันที่สูงด้วยความเร็วรอบที่สูงกว่าโดยทดกำลัง ผ่านสายพาน โบลเวอร์เวอร์รุ่น HB เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ด้านทานการไหลสูงเช่นการขนส่งลำเลียงผ่านท่อยาวหรือผิวไม่เรียบมีข้อต่อหรือข้องอจำนวนมาก การขนส่งลำเลียงที่ต้องผ่านตัวกรองอย่างหนา โบลเวอร์เวอร์รุ่น MB ดังรูปที่ 3.8 ยังเหมาะสำหรับงานเป่าหรือดูดเพื่อเคลื่อนย้ายหรือยกกระดาศพอยด์ หรือวัสดุต่างๆ ในงานขนส่งวัสดุแบบนิวแมติก

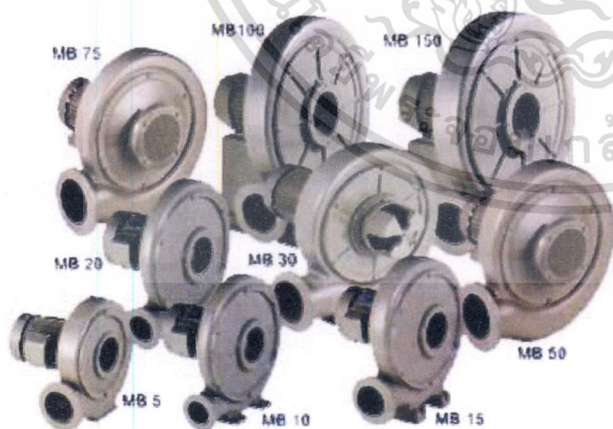
ลักษณะโครงสร้างโบลเวอร์เวอร์รุ่น MB

- ตัวโบลเวอร์เวอร์และใบพัดทำจากอลูมิเนียม ด้วยการออกแบบที่ถูกต้องตามหลักพลศาสตร์และน้ำหนักเบา

- มอเตอร์กับตัวโบลเวอร์เวอร์เป็นชิ้นส่วนกัน ทำให้สามารถซ่อมบำรุงได้สะดวก
- มอเตอร์ขับใบพัดโดยผ่านการทดสายพาน
- ใบพัดผ่านการถ่วงน้ำหนักด้วยเครื่องจักรทันสมัย ทำให้หมุนโดยไม่สั่นหรือแกว่ง

ลักษณะงานที่ใช้

- ใช้ในงานดูดหรือส่งฝุ่นยาง ก๊าซ ข้าว เมล็ดพืชหรือเศษวัสดุต่างๆ
- ใช้ในงานระบายความร้อนให้เครื่องจักร
- งานเป่าแห้งต่างๆ
- งานเติมอากาศให้กับเตาหลอมโลหะ



รูปที่ 3.8 โบลเวอร์เวอร์ รุ่น MB 50

ที่มา : บริษัท เทคโนโลยี เทคโนโลยี จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของโบลว์เวอร์แต่ละรุ่น (ที่มา: บริษัท เตชตราเทค จำกัด)

MODEL	HP	POLES	PHASE	AIR VOLUME (cfm)	STATIC PRESSURE (mm .w.g.)	R.P.M.
MB-5	1/2	2	1-3	424	120	2,900
MB-10	1	2	1-3	530	180	2,900
MB-15	1	2	1-3	742	220	2,900
MB-20	2	2	1-3	918	225	2,900
MB-30	3	2	3	1448	235	2,900
MB-50	5	2	3	1766	300	2,900
MB-75	7.5	2	3	2120	340	2,900
MB-100	10	2	3	4062	550	2,900
MB-150	15	2	3	3780	750	2,900

หลังจากเลือกขนาดของ โบลว์เวอร์รุ่น MB 50 แล้วจึงออกแบบต้นกำลังให้รับกำลังจาก PTO นำมาเข้า gear box เพื่อกลับทิศทางการหมุนและได้แก้ไขปรับปรุงอัตราทดโดยใช้พูลเลย์เป็นอุปกรณ์ในการทดรอบเพื่อลดความเร็วรอบจนได้ 2900 รอบต่อนาที ตามขนาดของ โบลว์เวอร์ ระบบท่อที่ส่งเม็ดปุ๋ยได้ออกแบบให้มีลักษณะเป็นท่อแยก 2 ทางเพื่อการกระจายปุ๋ยออก 2 แฉกต่อการวิ่ง ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ลักษณะของท่อที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ผลจากการคำนวณในภาคผนวก

ครั้งที่	ΔH	
	ซ้าย (มิลลิเมตรน้ำ)	ขวา (มิลลิเมตรน้ำ)
1	127	129
2	126	126
3	127	128

3.6 การออกแบบระบบถ่ายทอดกำลังและรถเทอร์เลอร์

ในขั้นตอนนี้เพื่อเป็นการประหยัดและลดต้นทุนให้กับเกษตรกร จึงได้นำรถเทอร์เลอร์ที่มีอยู่แล้วมาเป็นรถบรรทุกอุปกรณ์ของเครื่องหว่านปุ๋ยจึงไม่ได้มีการออกแบบและคำนวณโครงสร้างรูปที่ 3.10 Gear box เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่นำมาเพื่อช่วยเพิ่มความเร็วรอบและกลับทิศทางการส่งกำลัง ของอุปกรณ์หว่านปุ๋ย



รูปที่ 3.10 Gear box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รถแทรกเตอร์ที่นำมาใช้ทดสอบ

รูปที่ 3.11 ลักษณะรถแทรกเตอร์ที่นำมาวางอุปกรณ์หัวานปุ๋ยพร้อมกับเพลลา ที่ต้องไปต่อกับ
เพลลาอำนวยการกำลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การหาค่าสมรรถนะของระบบ

ในบทที่ 4 นี้จะเป็นการศึกษาสมรรถนะของเครื่องหว่านปุ๋ย โดยการหาสมรรถนะของอุปกรณ์แต่ละชนิดที่สำคัญ แต่ละส่วนจะถูกนำไปทดสอบหาความสัมพันธ์ ก่อน แล้วจึงนำมาประกอบรวมกันเพื่อหาค่าสมรรถนะของเครื่องหว่านปุ๋ยแต่ละแบบ

4.1 อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device)

หลังจากสร้างอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยแล้ว ต้องทำการทดสอบเพื่อหาความเร็วรอบและระยะช่องเปิดเพื่อให้ได้ปริมาณปุ๋ยตามความต้องการ จึงได้กำหนดความเร็วรอบของอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยไว้ที่ 50,60,70,80,90 รอบ/นาที และช่องรับปุ๋ย ตั้งแต่ 1 – 11 เซนติเมตร ทำการทดลองอย่างละ 3 ชั่วโมง

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย

เนื่องจากความสัมพันธ์ของความเร็วรอบแกนเพลากับช่องเปิดมีความสำคัญมาก กับปริมาณปุ๋ยที่ไหลออก จึงต้องมีการทดลองเพื่อหาความถูกต้องดังนี้ (เริ่มที่ 50 รอบ/นาที)

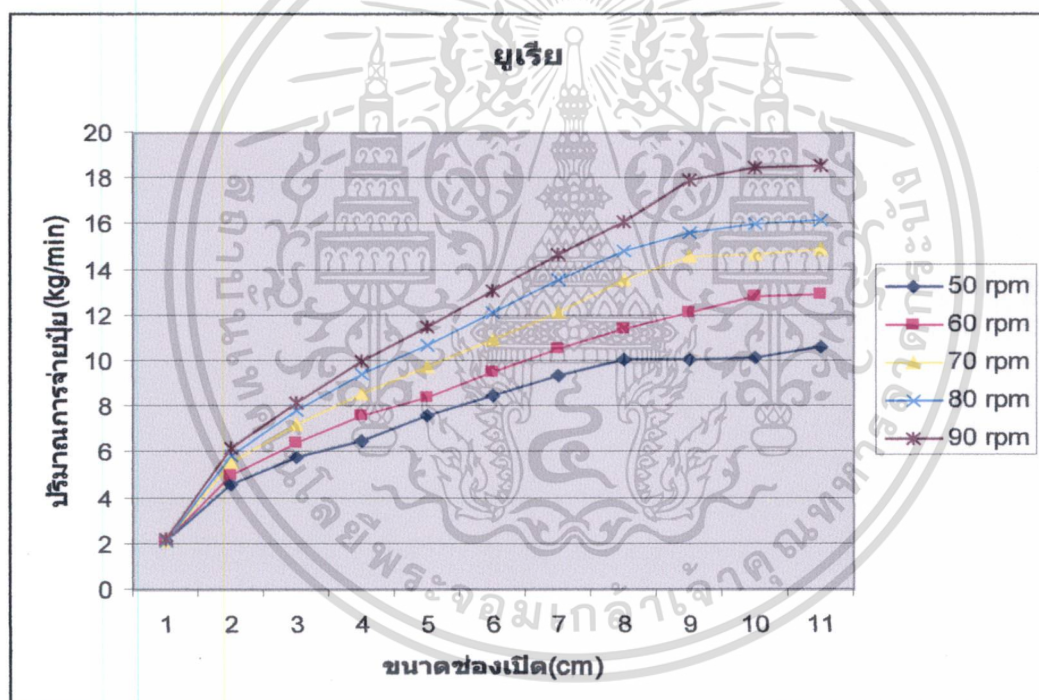
1. ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้ Inverter และใช้ Tachometer วัดความเร็วรอบเพลลาของ Metering device ให้ได้ 50 รอบต่อนาที
2. นำปุ๋ย (ที่ต้องการทดสอบที่ละชนิด) ยูเรียใส่ลงในเครื่องหว่านปุ๋ย
3. เปิดช่องจ่ายปุ๋ยกว้าง 1 เซนติเมตร
4. ปลอ่ยให้ปุ๋ยไหลลงในภาชนะโดยจับเวลา 30 วินาที
5. นำปุ๋ยที่ได้ไปชั่ง บันทึกผลการทดลอง
6. ทำการทดลองจนครบ 3 ชั่วโมง นำน้ำหนักปุ๋ยที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลการทดลอง
7. ใช้ปุ๋ยชนิดเดิม ความเร็วรอบของเพลลา Metering device ยังเท่าเดิม แต่เพิ่มช่องจ่ายอีก 1 เซนติเมตร บันทึกผลการทดลอง
8. ทำตามข้อ 6
9. ทำตามข้อ 1-8 จนครบช่องเปิดที่ 11 เซนติเมตร
10. หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนความเร็วรอบของเพลลา Metering device เป็น 60 รอบ/นาที (ยังใช้ปุ๋ยชนิดเดิม)
11. ทำตามข้อ 2-9 แล้วจึงเปลี่ยนความเร็วรอบของเพลลา Metering device เป็น 70 รอบ/นาที (ยังใช้ปุ๋ยชนิดเดิม) ทำซ้ำจนครบความเร็วที่ต้องการ
12. เปลี่ยนชนิดของปุ๋ยและเริ่มทำจากข้อ 1-11 และเปลี่ยนชนิดของปุ๋ยจนครบ(ส่วนแมกนีเซียมกับโบรอนต้องผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่ต้องการ) ตามรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



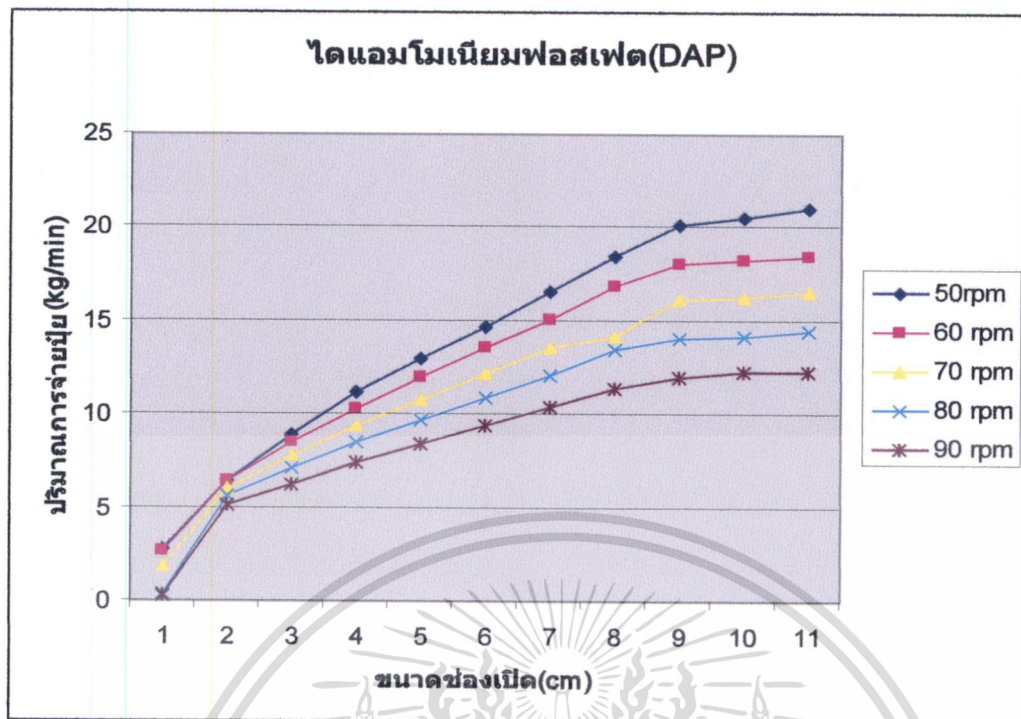
รูปที่ 4.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ช่องเปิดกับความเร็วยุเรียและปริมาณปุ๋ย

กราฟตามรูปที่ 4-2, 4.3, 4.4 และ 4.5 เป็นรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยุเรียของอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยกับช่องทางเข้า ได้มาจากการทดลองตามหัวข้อ 4.1.2

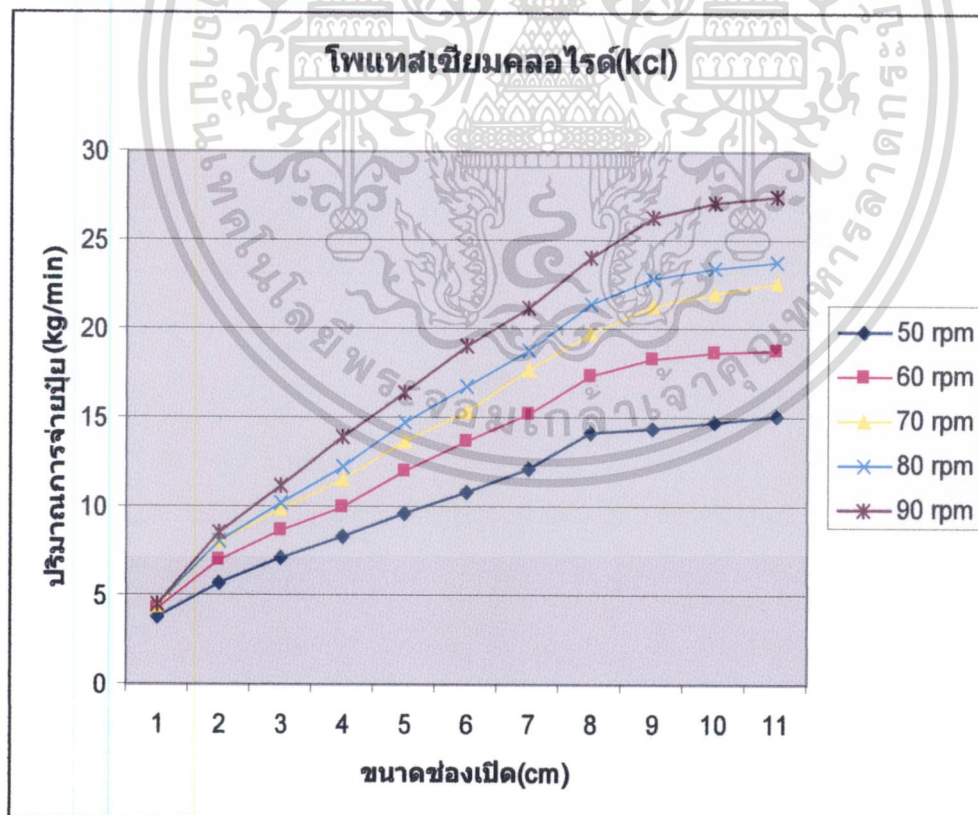


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ยยูเรีย (Urea)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

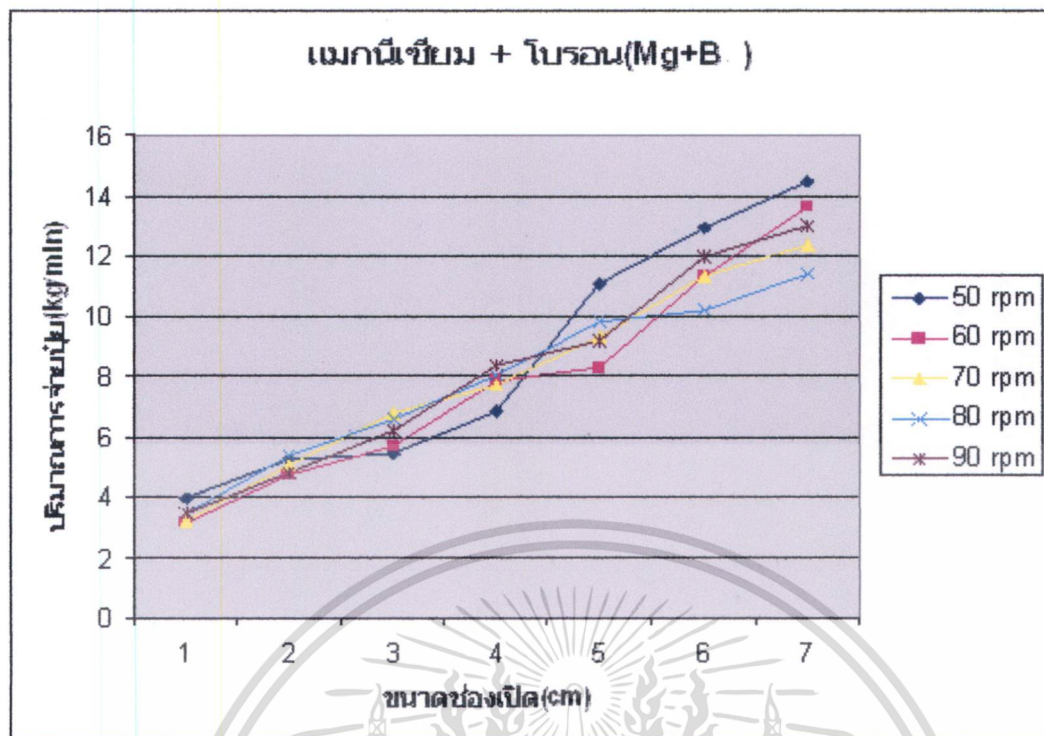


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP)



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปริมาณการจ่ายปุ๋ยแมกนีเซียม (Mg) + โบรอน (B)

จากการทดลอง อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device) จะเห็นได้ว่าปุ๋ย 5 ชนิดจะเพิ่มมากขึ้นในแต่ละความเร็วรอบต่อหนึ่งช่องเปิด โดย 3 ชนิดแรกมีแนวโน้มที่เหมือนกัน ส่วนแมกนีเซียมที่ผสมกับโบรอนนั้น จะมีแนวโน้มที่แตกต่างไปอาจเป็นเพราะลักษณะของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดเป็นผงจึงมีค่าที่ปวนแปรไปบ้าง เพื่อสะดวกในการสร้างและทดลอง จึงกำหนดความเร็วรอบของ อุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย ไว้ที่ 90 รอบต่อนาที และให้ปรับ ขนาดช่องทางเข้าของปุ๋ยตามปริมาณความต้องการ งบประมาณเทียบกับทฤษฎีที่คำนวณมาได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี(ความเร็วรอบ 90 rpm/min)

ชนิดปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่ได้จากการคำนวณ (kg/min)	ปริมาณปุ๋ยที่ได้จากการทดลอง (kg/min)	ช่องเปิดที่ใช้ (cm)
ยูเรีย (Urea)	13.53	13.89	6-7
ไดแอม โมเนียมฟอสเฟต(DAP)	9.384	9.87	6-7
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	25.025	25.19	8-9
แมกนีเซียม (Mg)+ โบรอน (B)	6.756	7.29	5-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์หัวานปุ๋ยแบบจาน

เมื่อทราบความเร็วรอบของอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยพร้อมกับ ขนาดช่องเปิดของปุ๋ย แต่ละชนิดแล้ว จึงนำอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยมาประกอบเข้ากับเครื่อง พร้อมกับประกอบอุปกรณ์หัวานเม็ดปุ๋ยแบบจานเหวี่ยงเข้ากับตัวเครื่อง เพื่อหาประสิทธิภาพของ อุปกรณ์หัวานเม็ดปุ๋ยเคมี เริ่มด้วยการทดลองหาระยะส่งเม็ดปุ๋ย ของจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางของจาน 40 เซนติเมตร หมุนด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที มีดริบสูง 1.5 นิ้ว จำนวน 4 ครีบ วางทำมุมกับแนวรัศมี 15 องศา การทดลองขั้นแรกจะหาดำแหน่ง (องศา) ของจุดปล่อยปุ๋ยบนจานเหวี่ยงที่เหมาะสม โดยจะเปรียบเทียบกับกับแนวตั้งฉาก (ขวาง) กับทิศทางการเคลื่อนที่ โดยดูจากการกระจายตัวของปุ๋ย

4.2.1 การทดลองหาการกระจายตัวของเม็ดปุ๋ยบนจานหมุนที่สมมาตรกับแกนอ้างอิง

ในการทดสอบได้นำวิธีการมาจากหนังสือ Engineering Principles of Agricultural Machines ของ Aji 1993. เพื่อหาดำแหน่งจุดปล่อยปุ๋ยเคมีบนจานเหวี่ยง ที่ก่อให้เกิดลักษณะการกระจายตัวที่สมมาตรกับแกนอ้างอิง (เส้นที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางจานเหวี่ยง ไปตามแนวการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร) ในการทดลองได้กำหนดจุดปล่อยปุ๋ยให้ห่างจากจุดศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร และได้เปลี่ยนจุดปล่อยปุ๋ยลงสู่ถาดลำเลียงผ่านช่องเปิดลงสู่จานเหวี่ยง ณ จุด 0° , 90° , 180° และ 360° ตามรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 การทดลองหามุม θ



รูปที่ 4.7 การทดลองบนลานปูน

ขั้นตอนการทดลอง หากการกระจายตัวของเม็ดปุ๋ยบนลานปูนที่สมมาตรกับแกนอ้างอิง

1. จึงเข็กรเป็นกรอบตารางบนพื้นขนาด 100×100 ตารางเซนติเมตร ในพื้นที่กว้าง 17 เมตร ลึก 14 เมตร ห่างจากงานเหวี่ยง 100 เซนติเมตร วางกล่องเพื่อเป็นตัวแทนปริมาณปุ๋ยในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ตามรูปที่ 4.8

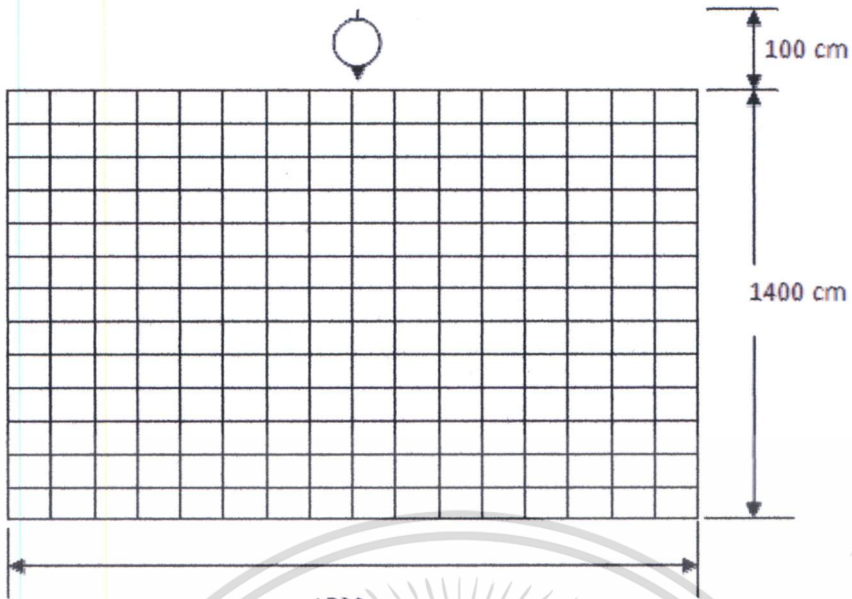
2. ตั้งงานเหวี่ยงสูงจากพื้นถึงงานเหวี่ยง 1 เมตร (เป็นความสูงของเครื่อง) และหมุนด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที จับเวลา 30 วินาที

3. คูทิศทางลักษณะการกระจายตัวของเม็ดปุ๋ยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ และ 360° และวัดระยะทางของเม็ดปุ๋ยที่ตกไกลสุดแล้วบันทึกผลการทดลอง นำมาเขียนการกระจายตามรูปที่ 4.10, 4.11, 4.12, และ 4.13 ตามลำดับ

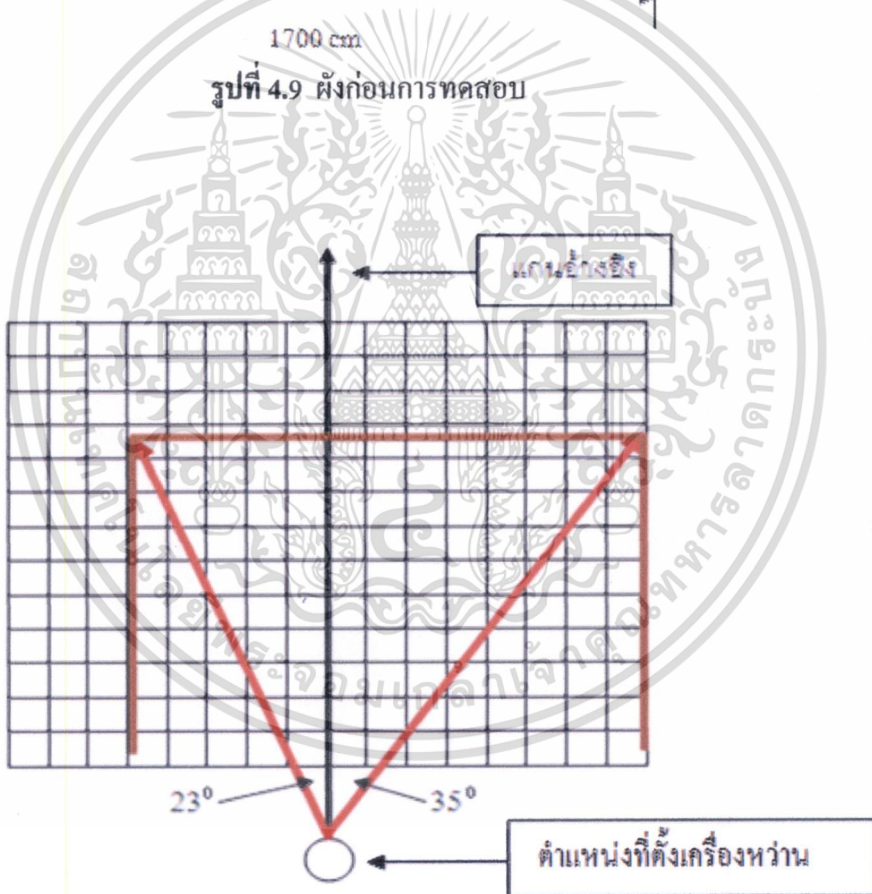


รูปที่ 4.8 การเตรียมพื้นที่เพื่อศึกษาการกระจายของปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

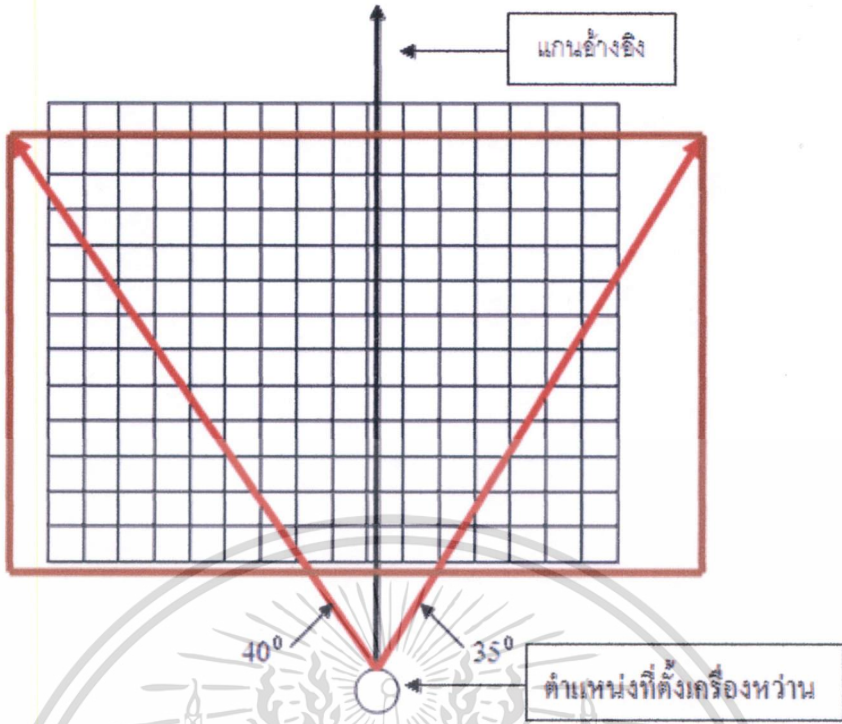


รูปที่ 4.9 ผังก่อนการทดสอบ

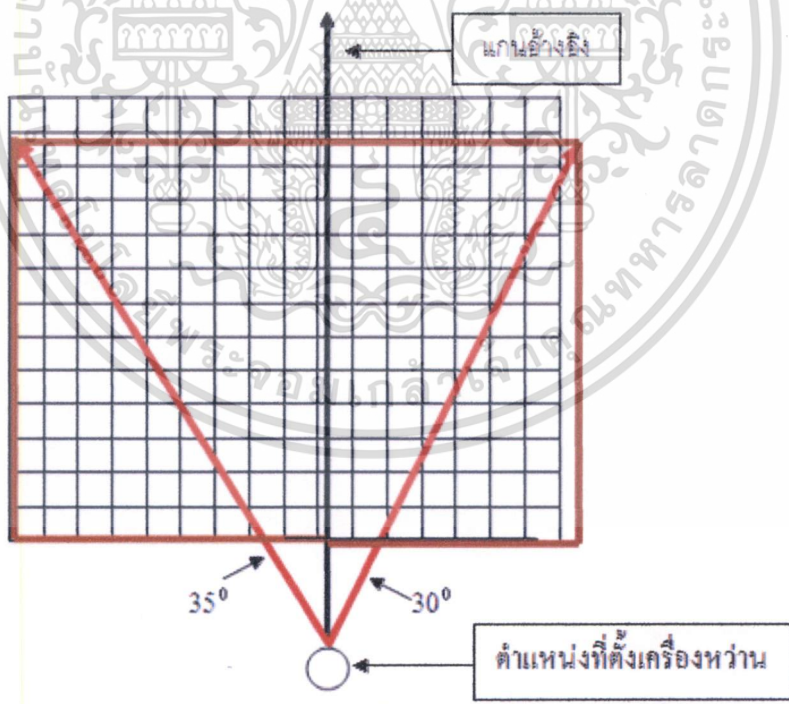


รูปที่ 4.10 ทิศทางของเมล็ดปุ๋ยที่ออกจากเครื่องหว่านปุ๋ยที่มุม 0°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

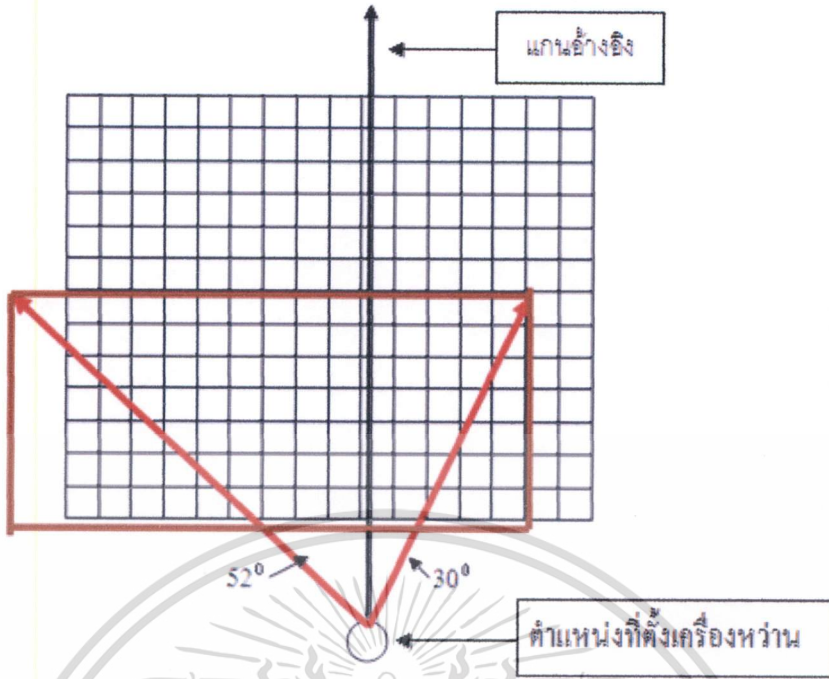


รูปที่ 4.11 ทิศทางของเม็ดยี่ที่ออกจากเครื่องหว่านปู้ยที่มุม 90°



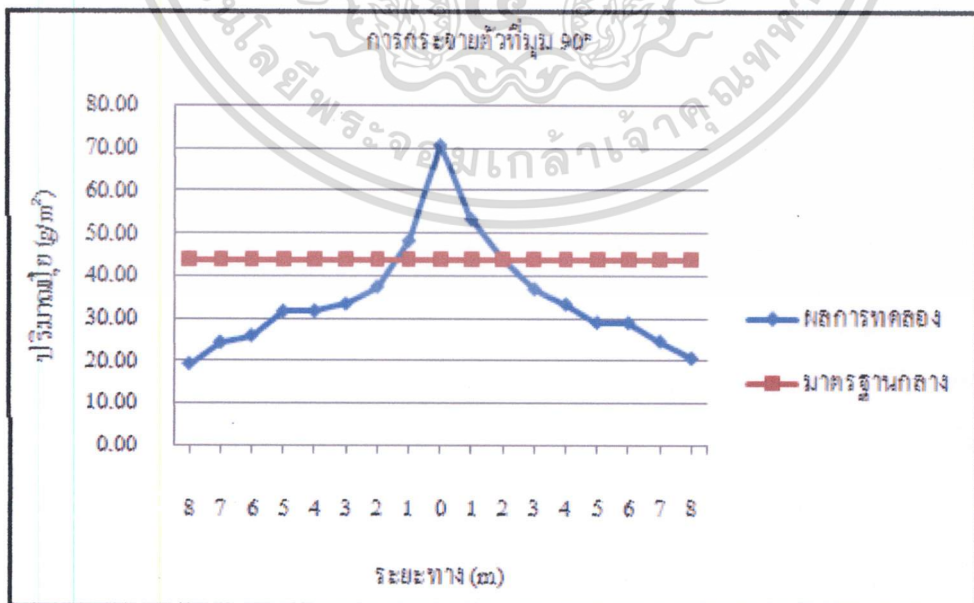
รูปที่ 4.12 ทิศทางของเม็ดยี่ที่ออกจากเครื่องหว่านปู้ยที่มุม 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



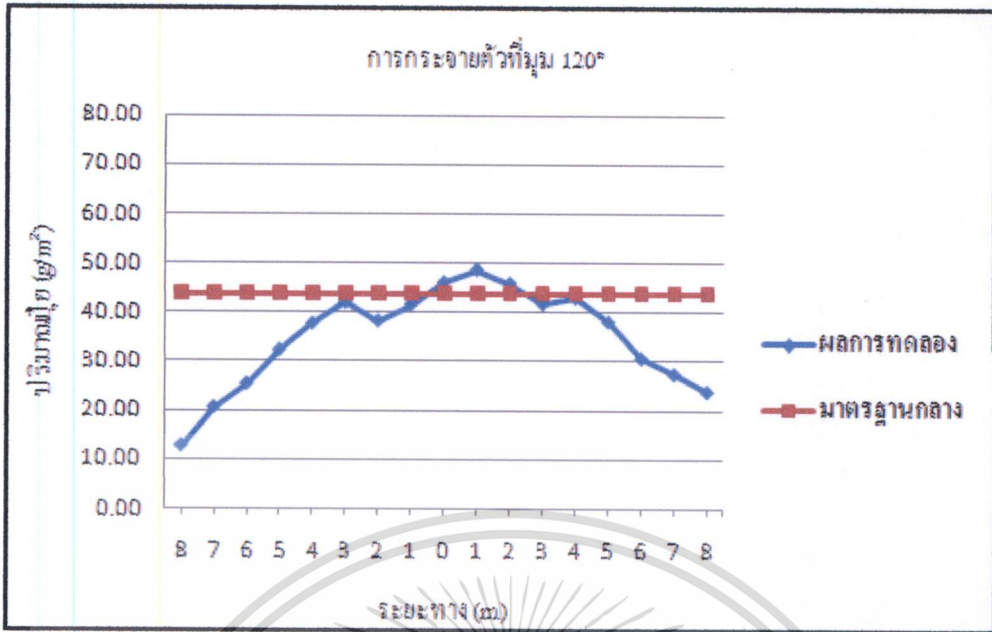
รูปที่ 4.13 ทิศทางของเม็ดยูที่ออกจากเครื่องหว่านยูที่มุม 270°

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายตัวของเม็ดยูเคมี มีมุมที่ค่อนข้างสมมาตรกัน อยู่ที่จุดปล่อยระหว่าง 90° - 180° จึงได้ทำการทดลองซ้ำใหม่โดยแบ่งมุมระหว่าง 90° - 180° ออกเป็นมุม 90° (ตามรูปที่ 4.14), มุม 120° (ตามรูปที่ 4.15), มุม 150° (ตามรูปที่ 4.16) และมุม 180° (ตามรูปที่ 4.17) เพื่อหาการกระจายตัวและสมมาตรที่ดีที่สุด

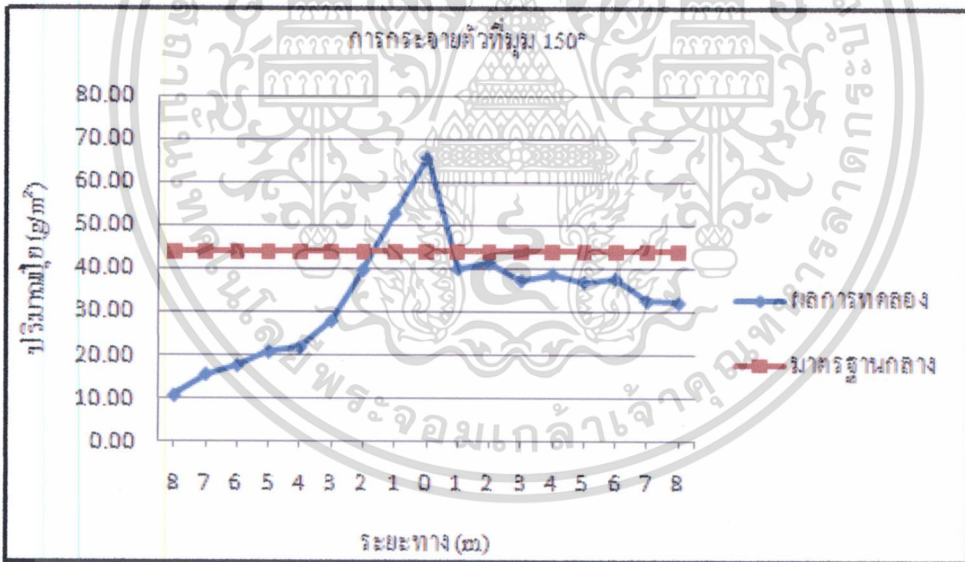


รูปที่ 4.14 การกระจายตัวที่มุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

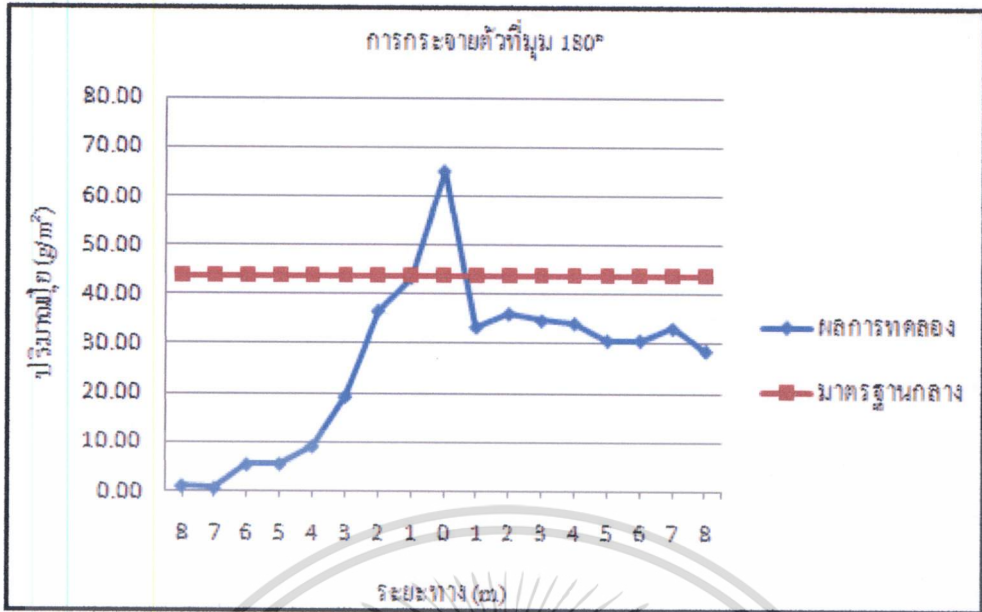


รูปที่ 4.15 การกระจายตัวที่มุม 120 องศา



รูปที่ 4.16 การกระจายตัวที่มุม 150 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



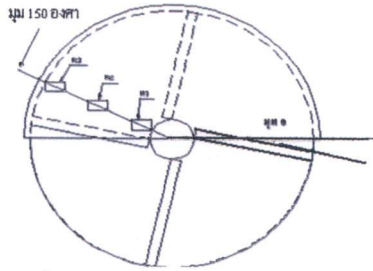
รูปที่ 4.17 การกระจายตัวที่มุม 180 องศา

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่ ที่มุม θ 90°, 120°, 150° และ 180°

องศา	สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (%)			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	
90	54.25685	54.4987	57.01686	55.25747
120	56.27988	58.18207	58.63999	38.94069
150	59.14576	60.17506	59.51805	59.61296
180	43.07145	22.11594	14.86294	26.68344

จากการทดลองการกระจายตัวที่มุมต่างๆที่ได้ทำการทดลองมาแล้วและสัมประสิทธิ์การกระจายตัวตามตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวที่มุม 120° และมุม 150° มีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อมาดูที่ปริมาณการจ่ายปุ๋ย ที่มุม 150° จะให้ความสม่ำเสมอมากกว่า จึงเลือกใช้มุม 150° ในการทดลองต่อไป ในการทดลองต่อไปได้กำหนดมุม 150° ที่กระทำกับแนวรัศมี ค่ามุมนี้เป็นค่าคงและจะเปลี่ยนจุดปล่อยปุ๋ยเพื่อหาการกระจายตัวที่ดีที่สุด โดยแบ่งตำแหน่งของจุดปล่อยปุ๋ยออกเป็น 3 จุด (r_1, r_2, r_3) ดังรูป ที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

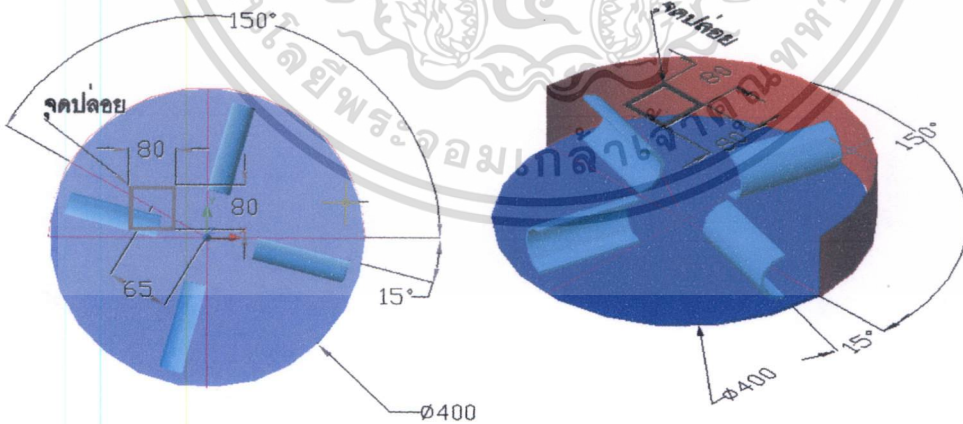


รูปที่ 4.18 ตำแหน่งของจุดป้อย

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของป้อยจากการแปรผันระยะตกตามแนวรัศมี

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง (R)	สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (%)			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	
$r_1 = 6.5 \text{ cm}$	59.14576	60.17506	59.51805	59.61296
$r_2 = 12.75 \text{ cm}$	23.12791	30.39039	22.03561	25.18464
$r_3 = 19 \text{ cm}$	4.609413	-7.30607	-13.5846	-5.42709

จากผลการทดลองจะเห็นว่าตำแหน่งจุดป้อยอยู่ที่ 6.5 เซนติเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่ดีที่สุด จึงสรุปได้ว่าตำแหน่งจุดป้อยต้องห่างจากจุดศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร และต้องทำมุม 150 องศาจากแกนอ้างอิง ตามรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ลักษณะของจานเหวี่ยงและจุดป้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อุปกรณ์หัวาน็ว้แบบลม

สำหรับกรณีการเปลี่ยนอุปกรณ์หัวาน็ว้เป็นโบลว์เวอร์หลังจากที่ได้เลือกรุ่น HB50 แล้วได้ประกอบลงในเครื่องหัวาน็ว้ โดยยังยึดใช้ถังบรรจุและอุปกรณ์กำหนดปริมาณน็ว้ ตัวเดิม และส่งน็ว้เคมีผ่านท่อเข้าโบลว์เวอร์ก่อนจะทำการทดลองใส่น็ว้เคมีนั้น ได้ทดสอบแรงดันลมที่ออกจากปลายท่อ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว) ทั้งสองได้ทำการวัดแรงดันลม โดยใช้อุปกรณ์ Pitot tube และ มาโนมิเตอร์เพื่อสังเกตแรงลมทั้ง 2 ด้านตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองตัวเปล่า

ครั้งที่	ซ้าย (มิลลิเมตรน้ำ)	ขวา (มิลลิเมตรน้ำ)
1	126	125
2	125	127
3	126	125

จากตารางที่ 3.6 ผลจากการคำนวณ แรงดันของลมภายในท่อเมื่อ นำมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.4 ซึ่งแนวแรงดันของลมภายในท่อที่ได้จากการวัด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้นำมาทดลองกับน็ว้แต่ละชนิด

ขั้นตอนการทดลอง

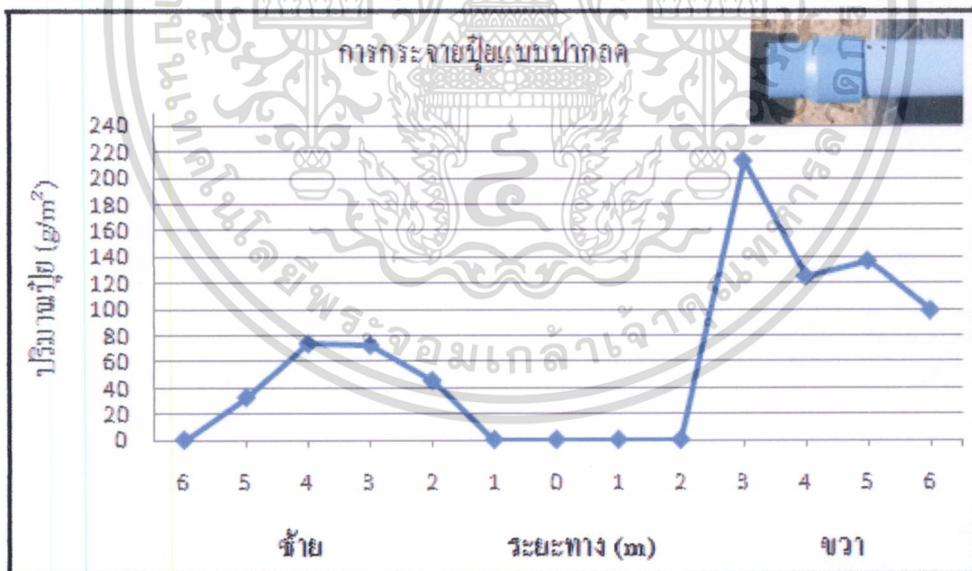
1. เตรียมอุปกรณ์การทดลอง
2. เปิด BLOWER (เปิดลมสุด) โดยใช้ Inverter ในการปรับรอบ Metering ที่ 90 rpm
3. ปลดอยเม็दन็ว้ลงสู่ท่อถ้าเลียงด้วยลมคูปริมาณน็ว้แต่ละข้าง
4. ทดสอบเม็दन็ว้แต่ละชนิด เพื่อดูปริมาณน็ว้
5. นำพลาสติก เจาะรูระบายเพื่อรอรับเม็दन็ว้
6. ชั่งน้ำหนักน็ว้แต่ละข้าง เพื่อดูปริมาณน็ว้ โดยน้ำหนักในเวลา 30 วินาที (ทำ 3ซ้ำ) ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาปริมาณปุ๋ยแต่ละชนิด (กิโลกรัมในเวลา 30 วินาที)

ครั้งที่(Urea)	ซ้าย (kg)	ขวา (kg)	ครั้งที่ (DAP)	ซ้าย (kg)	ขวา (kg)
1	1.3	1.2	1	0.9	0.9
2	1.2	1.2	2	0.8	0.6
3	1.4	1.1	3	0.8	0.9
ครั้งที่ (KCl)	ซ้าย (kg)	ขวา (kg)	ครั้งที่ (B+Mg)*	ซ้าย (kg)	ขวา (kg)
1	1.7	2.6	1	0.02	0.02
2	1.2	1.3	2	0.01	0.01
3	1.4	1.1	3	0.02	0.01

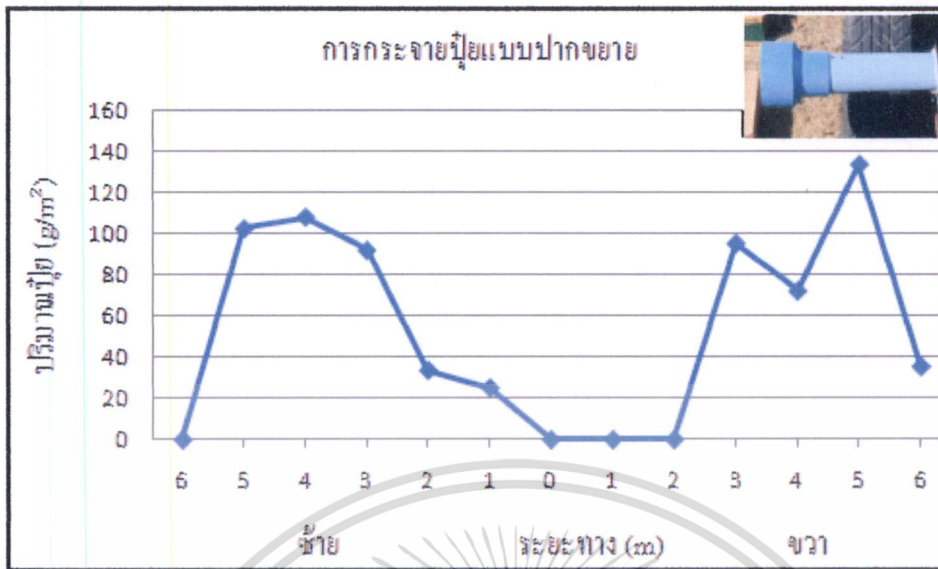
*เนื่องจาก B+Mg มีลักษณะเป็นฝุ่นผงคล้ายแป้ง เวลาทำการทดลองมีลมพัด จะมีการฟุ้งกระจายทำให้การวัดเป็นไปได้ยาก

จากนั้นจึงทดลองปรับโดยเปลี่ยนช่องทางออกเป็น 3 แบบ คือ แบบปากกลด แบบปากขยาย และแบบปากตรง ทำการทดลองซ้ำเหมือนที่ผ่านมา แต่ใช้ปุ๋ยทั้ง 5 ชนิด ส่งผ่านช่องทางออกทั้ง 4 ช่อง

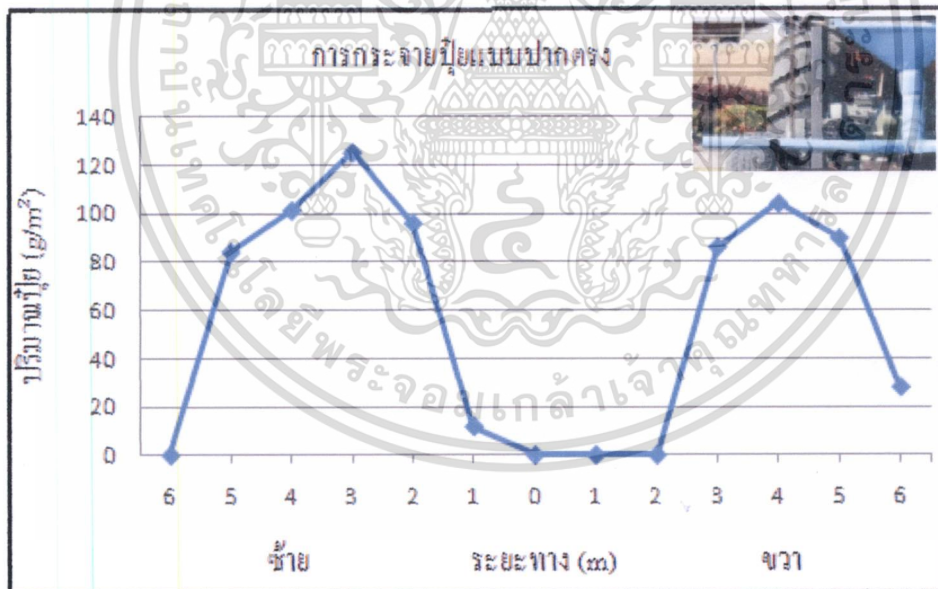


รูปที่ 4.20 ลักษณะการกระจายตัวของท่อแบบปากกลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ลักษณะการกระจายตัวของท่อแบบปากขยาย



รูปที่ 4.22 ลักษณะการกระจายตัวของท่อแบบปากตรง

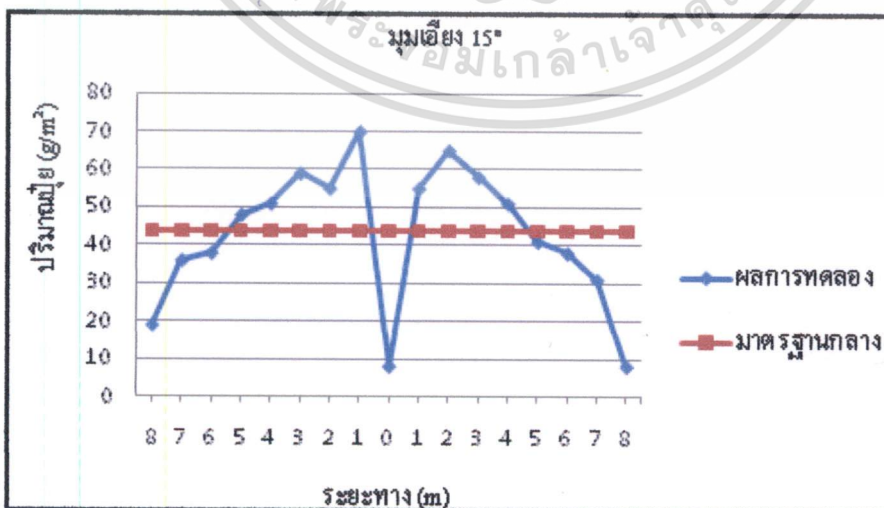
จากรูปที่ 4.20, 4.21 และ 4.22 ผลการทดลองจะเห็นได้ว่าแบบปากตรงมีการกระจายตัวสองข้างที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนแบบปากขยายนี้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จึงสามารถสรุปได้ว่าการกระจายตัวของเม็ดปุ๋ยในแบบลักษณะปากท่อตรงมีการกระจายตัวที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



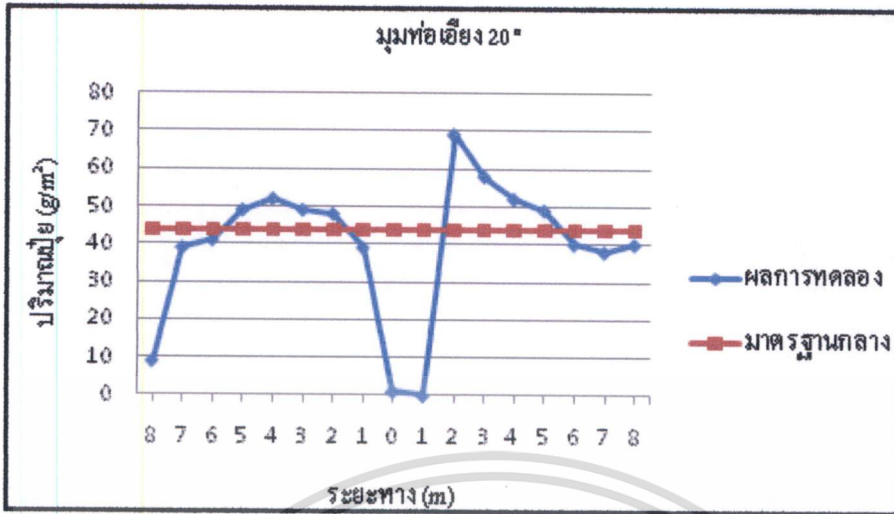
รูปที่ 4.23 ลักษณะการปรับมุมเอียงของท่อส่งปุ๋ย

ต่อจากนี้จะทำการทดลองปรับมุมเอียงของท่อส่งปุ๋ยที่กระทำมุมกับระนาบ ที่มุม ดังต่อไปนี้ 15° , 20° , 25° , 30° , 35° และที่มุม 40° ไม่สามารถกระทำได้ เพราะปุ๋ยจะขึ้นไปค้างบนยอดและ ทางใบของต้นปาล์มน้ำมัน ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ปากท่อตรง โดยให้รถเคลื่อนตัวที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณปุ๋ย มาเปรียบเทียบกับ การกระจายตัว ที่ต้องการความสม่ำเสมอ ที่ 43.8 กรัมต่อตารางเมตร ตามองศาการปรับความเอียงของท่อส่งปุ๋ยเมื่อเทียบกับระดับพื้นดิน เริ่มที่มุม 15 องศา ตามรูปที่ 4.24, ที่มุม 20 องศา ตามรูปที่ 4.25, ที่มุม 25 องศา ตามรูปที่ 4.26, ที่มุม 30 องศา ตามรูปที่ 4.27 และ ที่มุม 35 องศา ตามรูปที่ 4.28

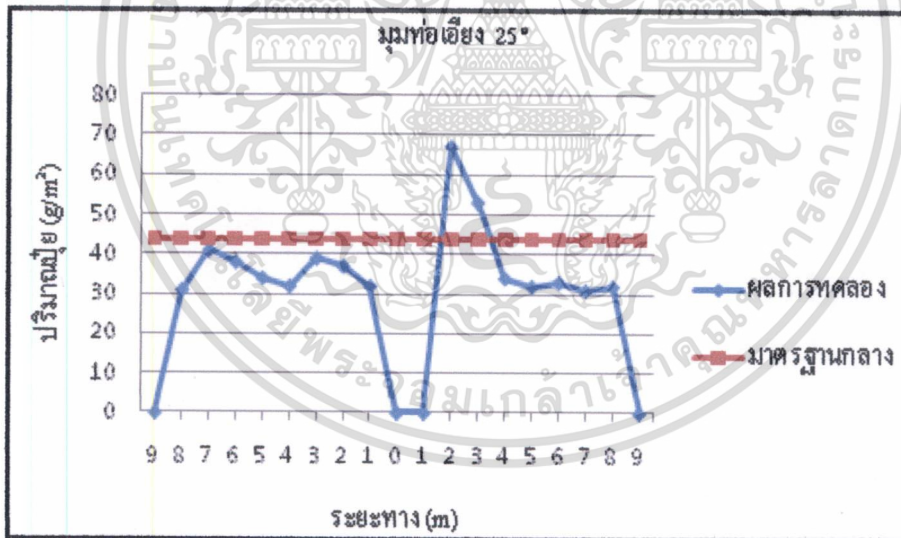


รูปที่ 4.24 ผลการกระจายตัวของปุ๋ยเคมีใช้ท่อปากตรงที่มุม 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

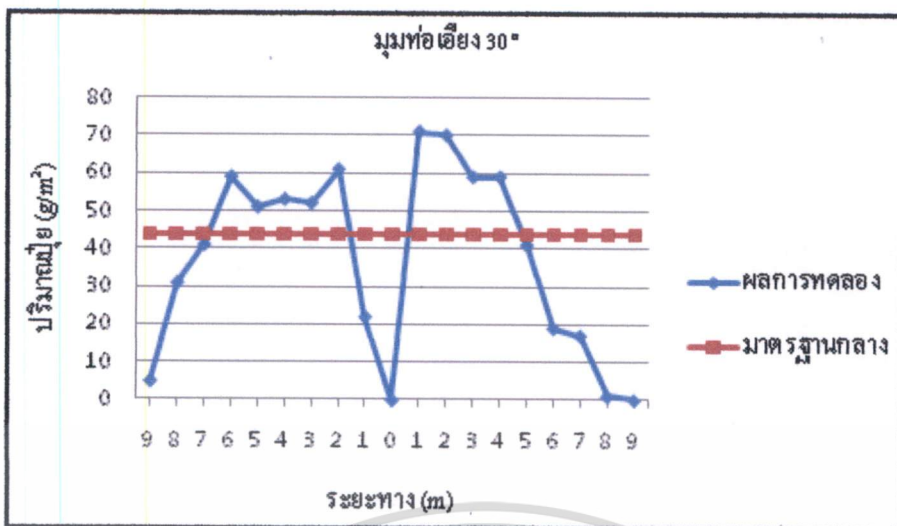


รูปที่ 4.25 ผลการกระจายตัวของปุยเคมีใช้ทอปากตรงที่มุม 20 องศา

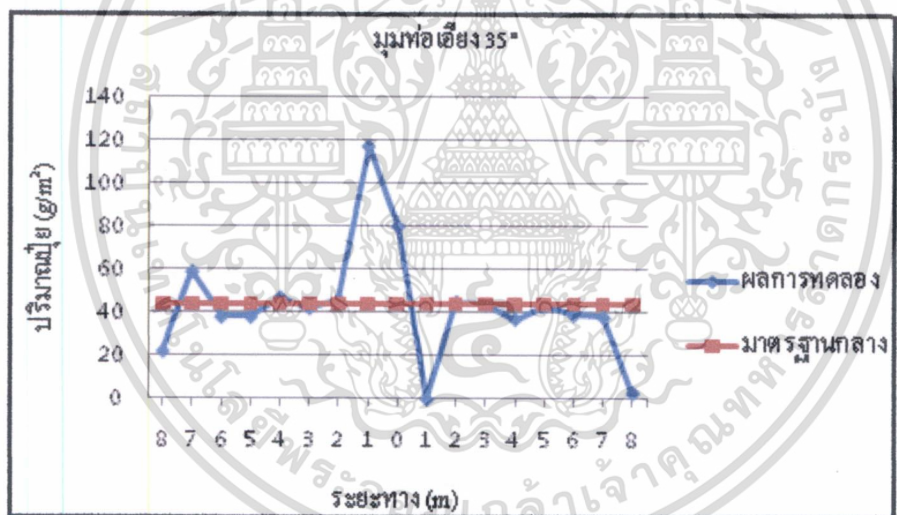


รูปที่ 4.26 ผลการกระจายตัวของปุยเคมีใช้ทอปากตรงที่มุม 25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ผลการกระจายตัวของฝ้ายเคมีใช้ทอปากตรงที่มุม 30 องศา



รูปที่ 4.28 ผลการกระจายตัวของฝ้ายเคมีใช้ทอปากตรงที่มุม 35 องศา

จากผลการทดลอง โดยใช้ปากทอแบบตรงปรับองศาของทอส่งฝ้าย จะเห็นได้ว่าที่มุม 30 องศา การกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ สรุปได้ว่า เครื่องหว่านฝ้ายแบบลำเลียงด้วยลมจะใช้ปากทอชนิดตรง และมุมของทอส่งฝ้ายที่ 30 องศา ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด

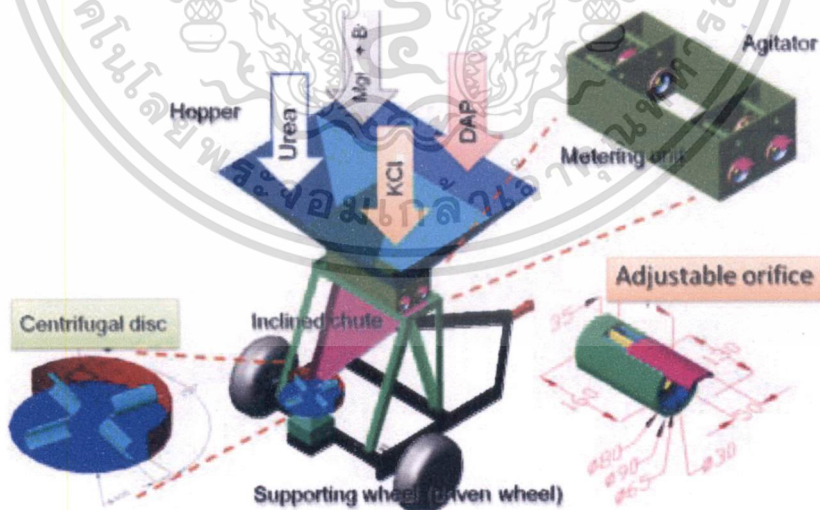
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกลที่ใช้ในการหว่านปุ๋ยเคมีสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน โดยการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยที่สามารถทำการหว่านครอบคลุมหน้ากว้าง 15.6 เมตร และสามารถหว่านปุ๋ยเคมีเชิงเดี่ยว 5 ชนิดพร้อมกันได้แก่ ยูเรีย ไคเอม โมเนี่ยม ฟอสเฟส โพแทสเซียม คลอไรด์, ทีเซอร์ไรต์ และ โบรอน ทดแทนการหว่านปุ๋ยเคมีแบบสูตร โดยออกแบบให้สามารถปรับอัตราการจ่ายปุ๋ยแต่ละชนิดได้อย่างอิสระ ให้เหมาะสมกับวัยของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากความต้องการปุ๋ยเคมีของปาล์มน้ำมันจะแปรผันไปตามอายุ ชนิดของดิน และอาการขาดธาตุอาหารของต้นปาล์ม ที่ตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ที่ใบทอปาล์มน้ำมัน

การศึกษาได้ทำการพัฒนาต้นแบบเครื่องหว่านปุ๋ยออกมาสองเครื่องคือ เครื่องหว่านปุ๋ยระบบงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และเครื่องหว่านปุ๋ยระบบลำเลียงด้วย ยลม ออกแบบให้ทำงานโดยการต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาด 40 แรงม้าและขับเคลื่อนกลไกการหว่านด้วยเพลอาวนายกกำลังของแทรกเตอร์ หลังจากสร้างเครื่องต้นแบบแล้วจึงได้ทำการทดสอบเพื่อปรับตั้งกลไกให้มีประสิทธิภาพการหว่านดีที่สุด แล้วจึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบศักยภาพและความเหมาะสมของเครื่องหว่านที่พัฒนาขึ้นมา เพื่อเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย



รูปที่ 5.1 เครื่องหว่านปุ๋ยเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 หลักการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี

เครื่องหว่านปุ๋ย ได้รับการ ออกแบบให้ทำงานโดยการต่อพ่วงรถแทรกเตอร์ มีระบบการทำงานคือหลังจากบรรจูปุ๋ยเชิงเคียวทั้งห้าชนิดลงในถังบรรจุแต่ละช่องแล้ว (สำหรับเกียร์โรตารีและโบ รอนให้ผสมกันก่อนบรรจุ) เมื่อเครื่องเริ่มทำงาน ปุ๋ยแต่ละชนิดจะไหลผ่านชุดกำหนดปริมาณ (Metering unit) ที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของชุดถังบรรจุ ซึ่งภายในแบ่งออกเป็นสี่ ช่องย่อย เพื่อทำการกำหนดปริมาณปุ๋ยแต่ละชนิดตามอัตราการจ่ายปุ๋ยที่ต้องการ ด้วยการควบคุมอัตราการจ่ายปุ๋ยโดยใช้ช่องเปิดแบบปรับขนาดได้ (Adjustable orifice) หลังจากนั้นปุ๋ยแต่ละชนิดก็จะไหลรวมกันลงไปสู่ระบบหว่าน การกำหนดปริมาณปุ๋ยจะสอดคล้องกับระยะทางในการเคลื่อนของเครื่องหว่านปุ๋ยด้วย การทดสอบชุดกำหนดปริมาณ ปุ๋ยจะถูกต่อเข้ากับล้อของรถเพลเลอร์ (Supporting wheel) โดยระบบการหว่านปุ๋ยมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันทั้งสองแบบคือ แบบจานเหวี่ยง (Centrifugal disc) ของเครื่องหว่านปุ๋ยแบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และแบบลมลำเลียง (Pneumatic conveyor) ของเครื่องหว่านปุ๋ยระบบลำเลียงด้วยลม

กลไกการหว่านของจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จะใช้จานเหวี่ยงหนึ่งชุดทำงานที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ทำการกระจายปุ๋ยทั้งหมดออกไปพร้อมๆกันให้ทั่วพื้นที่ด้านท้ายของเครื่องหว่านปุ๋ย จานเหวี่ยงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 ซม. ติดตั้งครีป 4 ใบ เพื่อทำหน้าที่ตีปุ๋ยเพื่อเพิ่มความเร็วของปุ๋ยและกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของปุ๋ยจากจานเหวี่ยง เพื่อสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ไกลที่สุด (เม็ดปุ๋ยไม่เสียหาย) ครอบคลุมหน้ากว้าง การหว่านที่ต้องการคือ 15.6 เมตร แต่ตัวแปรที่มีอิทธิพลอยู่ วยังกับประสิทธิภาพการหว่านคือ การกำหนดตำแหน่งการปล่อยปุ๋ยลงบนงานที่เหมาะสม เนื่องจากส่งผลโดยตรงกับลักษณะการกระจายตัวของปุ๋ยบนพื้นดิน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งการปล่อยปุ๋ยที่เหมาะสม พบว่าติดตั้งจุดปล่อยที่มุม 150 องศาจากเส้นอ้างอิง และห่างจากจุดศูนย์กลางรัศมี 6.5 ซม. จะให้ลักษณะการกระจายปุ๋ยดีที่สุด

กลไกการหว่านแบบลำเลียงด้วยลม ใช้โบลว์เวอร์ขนาด 1766 ลบ.ฟุตต่อนาที ความดันอากาศ 300 มม.น้ำ เป็นตัวจ่ายอากาศความเร็วสูงเพื่อลำเลียงปุ๋ยผ่านท่อแยกสองข้าง โดยวัดความดันอากาศที่ปลายท่อได้ 126 มม.น้ำ ปุ๋ยถูกผลักดันด้วยอากาศความเร็วสูงให้พุ่งกระจายผ่านปลายท่อพ่นแบบปากตรง ก่อนจะเคลื่อนที่ออกไปทั้งสองด้าน ไปยังแนวต้นปาล์มด้านท้ายของเครื่องหว่าน ในการศึกษาได้ทำการปรับมุมเอียงของท่อเพื่อเพิ่มหน้ากว้างในการหว่าน และพบว่าเมื่อเอียงท่อเป็นมุม 30 องศากับแนวราบ ลักษณะการกระจายตัวของปุ๋ยจะดีที่สุด

5.2 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี

5.2.1 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ตำแหน่งที่เมล็ดปุ๋ยตกลงสู่จานเหวี่ยง มีผลต่อระยะทางการส่งเมล็ดปุ๋ยและความสม่ำเสมอของการกระจาย โดยตำแหน่งที่ปุ๋ยตกพิจารณาจากระยะห่างจากศูนย์กลางจานและการทำมุมกับแกนอ้างอิง (θ) ที่มุม θ เท่ากับ 150° ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากับ 6.5 เซนติเมตร ความเร็วรอบของจานเหวี่ยง 1,600 รอบต่อนาที จากการทดสอบกับปุ๋ยยูเรีย ระยะส่งได้ไกลสุด 14 เมตร ระยะหน้ากว้าง สูงสุด 16 เมตร เม็ดปุ๋ยตกครอบคลุมพื้นที่ 238 ตารางเมตร สัมประสิทธิ์การกระจายตัว 59.6 %

จากการทดลองหว่านในสภาพแปลง อัตราการให้ปุ๋ยยูเรียและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) ไกล่เคียงกับค่าที่ต้องการ อัตราการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) น้อยกว่าค่าที่ต้องการ 33% อัตราการให้ปุ๋ยดีเซลไธด์ผสมโบรอน (B + Mg) น้อยกว่าค่าที่ต้องการ 75% สาเหตุมาจากเกิดการไหลติดขัดของปุ๋ยที่ช่องเปิดของ Metering device

การใช้ปุ๋ยที่มีลักษณะ ทางกายภาพเป็นเม็ด เช่น ยูเรีย , ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต สามารถหว่านครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ (หน้ากว้างของการหว่านที่มีประสิทธิภาพประมาณ 15-18 เมตร) แต่ยังมีลักษณะการกระจายตัวไม่ดีนัก ($cu=63.37\%$ และ 48.80% ตามลำดับ) ปุ๋ยที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นเกร็ดเล็กๆ เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์มีระยะของการหว่านรองลงมา (หน้ากว้างของการหว่านที่มีประสิทธิภาพประมาณ 13 เมตร) และมีลักษณะการกระจายตัวไม่ดี ($cu=38.48\%$) ส่วนที่มีลักษณะเป็นผง เช่น ดีเซลไธด์ผสมกับโบรอนมีระยะการหว่านแคบ (8-9 เมตร) ไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ ทั้งหมดระหว่างปลั๊ก 2 แถวได้และมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวต่ำที่สุด ($cu=74.97\%$)

5.2.2 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบระบบลำเลียงด้วยลม

กลไกการหว่านด้วยระบบลำเลียงด้วยลม ส่งปุ๋ยผ่านท่อแยก ซ้าย- ขวา ปลายท่อแยกทั้งสองวางห่างกัน 2 เมตร ใช้ปากพ่นแบบตรง ซึ่งสามารถพ่นปุ๋ยได้ค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งสองข้างโดยครอบคลุมหน้ากว้างการหว่านที่ 14 เมตร จึงยังไม่เพียงพอกับความต้องการที่ 15.6 เมตร ดังนั้นจึงปรับโดยการยกปลายท่อทั้งสองข้างขึ้น ทำมุม 30 องศา กับแนวราบ พบว่าสามารถพ่นปุ๋ยได้ครอบคลุมหน้ากว้าง 16 เมตร โดยมีอัตราการหว่าน(ปริมาณปุ๋ยบนพื้นดิน)ที่เหมาะสมที่สุด

ในการทดสอบการพ่นปุ๋ยแต่ละชนิดพบว่า ประสิทธิภาพการหว่านปุ๋ย ที่มีลักษณะเป็นเม็ดคือ ปุ๋ยยูเรีย และ ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต มีประสิทธิภาพการหว่านค่อนข้างดี สำหรับปุ๋ยยูเรียมีหน้ากว้างการหว่านที่ 20 เมตร ในขณะที่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตมีหน้ากว้างการหว่านที่ 16.8 เมตร สำหรับโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีลักษณะคล้ายน้ำตาลทรายแดง (ชาวบ้านเรียก ปุ๋ยพริกเกลือ) พบว่าสามารถพ่นได้ครอบคลุมหน้ากว้างเพียง 13.8 เมตร ในกรณีของปุ๋ยดีเซลไธด์ผสมโบรอน ซึ่งมีอนุภาคละเอียดมากคล้ายผงแป้ง พบว่าระบบลำเลียงสามารถพ่นไปได้ไม่ไกล ครอบคลุมหน้ากว้างเพียง 11.6 เมตร ในการทดสอบรอบสุดท้าย เป็นการหว่านปุ๋ยทุกชนิดพร้อมกัน พบว่าเกิดปัญหาการอุดตันของปุ๋ยในท่อ ทำให้การหว่านเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ปุ๋ยถูกพ่นครอบคลุมหน้ากว้างการหว่านเพียง 12.4 เมตรเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะในการใช้งานเครื่องหว่านปุ๋ยเคมี

เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีต้นแบบ สามารถปรับอัตราการจ่ายปุ๋ยแต่ละชนิดได้อย่างอิสระ โดยทำการปรับลิ้นก้นที่ส่วนล่างของช่องใส่ปุ๋ยแต่ละตัว โดยมีปริมาณการไหลของปุ๋ยแต่ละชนิดดังนี้ ยูเรีย 2.22 – 18.57 กิโลกรัมต่อนาที ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต 0.27 – 12.29 กิโลกรัมต่อนาที โพแทสเซียมคลอไรด์ 4.55 – 27.47 กิโลกรัมต่อนาที และ ทีเซอโรต์ผสมกับโบแรกซ์ 3.48 – 13.02 กิโลกรัมต่อนาที ที่ความเร็วรอบของเพลาชุดหยอด 90 รอบต่อนาที โดยปริมาณการลำเลียงปุ๋ยจะสอดคล้องกับระยะทางในการเคลื่อนที่แนวราบ โดยใช้การทดรอบเพลาชุดหยอดกับล้อดิน ก่อนที่เม็ดปุ๋ยจะถูกลำเลียงลงไปสู่กลไกการหว่านเพื่อกระจายเม็ดปุ๋ยลงสู่พื้นดิน

ในการออกแบบกำหนดเงื่อนไขว่าเครื่องหว่านปุ๋ยเคลื่อนที่ด้วย ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบของชุดหยอด 90 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของ จานเหวี่ยง 1,500 รอบต่อนาที เป็นสภาวะการใช้งาน แต่เมื่อได้ทดสอบการใช้งานในสภาพแปลงพบว่าที่เงื่อนไขดังกล่าวรถแทรกเตอร์มีกำลังขับไม่เพียงพอ จึงลดเกียร์และเร่งความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วรอบของ จานเหวี่ยงเป็น 1,600 รอบต่อนาที สูงกว่าค่าที่กำหนดเล็กน้อย การทดลองในสภาพแปลง พบว่าชุดหยอดนั้นมีความเร็วรอบที่ 105 รอบต่อนาที จึงต้องมีการปรับลดขนาดช่องเปิดเพื่อลดอัตราการจ่ายปุ๋ยให้เหมาะสม

สำหรับเครื่องหว่านปุ๋ยระบบลำเลียงด้วยลม ในแปลงทดสอบจริงพบว่าลักษณะการหว่านปุ๋ยและการกระจายของปุ๋ยทางด้านซ้าย และขวายังมีความแตกต่างกันสาเหตุอาจเกิดจากปุ๋ยก่อนไหลลงมาสู่ท่อแยก ยังผสมกัน ไม่ได้จึงทำให้ปุ๋ยบางชนิดขาดช่วงการไหลในท่อด้านใดด้านหนึ่ง หนึ่งด้วยคุณสมบัติของปุ๋ยเคมีที่มีการจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายเมื่อเจอความชื้นจึงอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุ ของปัญหาการอุดตัน และส่งผลถึงความไม่สม่ำเสมอ ในการหว่านพ่นปุ๋ย แต่เมื่อพิจารณาศักยภาพของระบบลำเลียงด้วยลม พบว่ากลไกนี้สามารถส่งปุ๋ยไปยังตำแหน่งใกล้ต้นปาล์มน้ำมันได้มากกว่า แต่จำเป็นต้องปรับปรุงให้มีการพ่นที่สม่ำเสมอกว่าต้นแบบปัจจุบัน

5.4 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการนำเครื่องหว่านปุ๋ยไปใช้งาน

5.4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านแรงงาน

ในการหว่านปุ๋ยสองวิธี คือ วิธีปกติและวิธีใช้เครื่องหว่าน

วิธีปกติ (เกษตรกรหว่าน) เป็นขั้นตอนโดยทั่วไปของเกษตรกร ทำการหว่านปุ๋ยในช่วงฤดูฝน โดยแบ่งเป็นสามครั้ง แต่ละครั้งมีขั้นตอนทั่วไปคือ จ้างรถแทรกเตอร์พ่วงรถสาลีเพื่อขนปุ๋ยกระสอบมา กองไว้ในแต่ละแปลง แล้วจึงใช้แรงงานคนในการนำปุ๋ยดังกล่าวหว่านไปทั่วบริเวณแปลงปาล์มน้ำมัน มีรายละเอียดดังนี้

	ค่าจ้างรถแทรกเตอร์ในการขนส่งปุ๋ย	250	บาท/ชั่วโมง
	ความสามารถในการขนส่งปุ๋ย	10	ไร่/ชั่วโมง
ดังนั้น	ค่าขนส่งปุ๋ยด้วยแทรกเตอร์เท่ากับ $250/10 =$	25	บาท/ไร่
	ค่าแรงงานคนต่อวัน(8 ชั่วโมง)	180	บาท/วัน
	อัตราการใส่ปุ๋ย 3 กิโลกรัม/ตัน =	66	กิโลกรัม/ไร่ (1 ไร่ ปุ๋ย 22 ตัน)
	ความสามารถในการหว่านปุ๋ยของคน 800 กิโลกรัม/วัน = $800/66 =$	12.12	ไร่/วัน
ดังนั้น	ค่าหว่านปุ๋ยด้วยแรงงานคนเท่ากับ $180/12.12 =$	14.85	บาท/ไร่
	เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาต้นทุนเฉพาะแรงงานที่ใช้ในการหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน เท่ากับ		
	ค่าขนส่งปุ๋ยด้วยแทรกเตอร์ + ค่าหว่านปุ๋ยด้วยแรงงานคน = $25 + 14.85 =$	39.85	บาท/ไร่
	วิธีใช้เครื่องหว่านปุ๋ย ในการศึกษาที่กำหนดว่าใช้ต้นกำลังคือแทรกเตอร์ที่ว่างมา แล้วต่อพ่วง		
	กับเครื่องหว่านปุ๋ยของเกษตรกรเพื่อทำหน้าที่หว่านปุ๋ยแทนการใช้แรงงานคน มีรายละเอียดดังนี้		
	ค่าเช่าแทรกเตอร์เพื่อใช้เป็นต้นกำลังในการทำงาน	250	บาท/ชั่วโมง
	ความสามารถในการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย	25	ไร่/ชั่วโมง
	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ลิตร/ชั่วโมง(ราคาน้ำมันลิตรละ 30 บาท) คิดเป็น	60	บาท/ชั่วโมง
	ค่าน้ำมันหล่อลื่น	6	บาท/ชั่วโมง
ดังนั้น	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับต้นกำลังเท่ากับ ค่าแทรกเตอร์ + ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง + ค่าน้ำมันหล่อลื่น =		
	$[250/25] + [60/25] + [6/25] = 10 + 2.4 + 0.24 =$	12.64	บาท/ไร่
	ค่าแรงงานของคนขับแทรกเตอร์ 180 บาท/วัน (คิดชั่วโมงทำงาน 8 ชั่วโมง)		
	ความสามารถในการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย 25 ไร่/ชั่วโมง		
ดังนั้น	ค่าแรงในการหว่านปุ๋ยด้วยเครื่องเท่ากับ $180/[25 \times 8] =$	0.9	บาท/ไร่
	เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาต้นทุนเฉพาะแรงงานที่ใช้ในการหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน เท่ากับ		
	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับต้นกำลัง + ค่าแรงในการหว่านปุ๋ยด้วยเครื่อง		
	$= 12.64 + 0.9 =$	13.54	บาท/ไร่

จากการคำนวณพบว่าค่าแรงงานที่ใช้ในการหว่านปุ๋ยโดยวิธีปกติ และใช้เครื่องหว่าน ต้นทุนทางด้านแรงงานของเครื่องหว่านเท่ากับ 13.54 บาท/ไร่ ในขณะที่วิธีปกติเท่ากับ 39.85 บาท/ไร่ เมื่อเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าเครื่องหว่านมีต้นทุนด้านแรงงานคิดเป็น 1 ใน 3 ของวิธีปกติ (การเปรียบเทียบนี้พิจารณาการหว่านปุ๋ยสูตรซึ่งเป็นปุ๋ยตัวเดียว แต่ในเงื่อนไขของการหว่านปุ๋ยเชิงเดี่ยว 5 ชนิดจะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเวลาและแรงงานที่มากขึ้น ดังนั้นหากพิจารณาในเงื่อนไขของการหว่านปุ๋ยเชิงเดี่ยว 5 ชนิดพร้อมกัน ความได้เปรียบของการใช้เครื่องหว่านจะมีมากยิ่งขึ้นด้วย)

5.4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนเครื่องหว่านปุ๋ย

เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการใช้งานและจุดคุ้มทุนในการลงทุนซื้อเครื่องหว่านปุ๋ย เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกซื้อเพื่อการทำสวนปาล์มน้ำมันของตนเองหรือเพื่อรับจ้างหว่านปุ๋ย ดังนั้นเพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับต้นทุนการใช้งานและจุดคุ้มทุนเพื่อการตัดสินใจ จึงคำนวณและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็น 2 กรณีหลัก คือ กรณีวิเคราะห์ภาพรวมของเกษตรกรเพื่อการเลือกใช้หรือลงทุนซื้อ และ กรณีของผู้รับจ้างหว่านปุ๋ย

การคำนวณต้นทุนการถือครองและการใช้งานเครื่องหว่านปุ๋ย

ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการใช้หรือถือครองเครื่องจักรกลเกษตร สามารถคำนวณได้จากผลรวมต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร มีสูตรการคำนวณดังนี้

1. ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วยค่าเสื่อมราคา ค่าดอกเบี้ย ค่าโรงเรือน ค่าภาษี ค่าประกัน แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะ ค่าเสื่อมราคา และค่าดอกเบี้ยเท่านั้น ในการคำนวณต้นทุนคงที่ ดังสมการ

$$\text{ต้นทุนคงที่} = \text{ค่าเสื่อมราคา} + \text{ค่าดอกเบี้ย}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา(บาทต่อปี)} = (P-S)/L$$

$$\text{ค่าดอกเบี้ย(บาทต่อปี)} = (i/100)(P+S)/2$$

โดย	P	=	ราคาซื้อเครื่องจักร	=	30,000	บาท
	S	=	ราคาซากเครื่องจักร	=	3,000	บาท (10%P)
	L	=	อายุการใช้งาน	=	8	ปี
	i	=	อัตราดอกเบี้ย, % ต่อปี	=	10%	

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = (30,000 - 3,000)/8 = 3,375 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าดอกเบี้ย} = (10/100)(30,000+3,000)/2 = 1,650 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ดังนั้น ต้นทุนคงที่เท่ากับ } 3,375 + 1,650 = 5,025 \text{ บาท/ปี}$$

2. ต้นทุนผันแปร เป็นค่าใช้จ่าย ที่ขึ้นอยู่กับกรปฏิบัติงานประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา ค่าแรงงานคนขับ และค่าต้นกำลัง

$$\text{ต้นทุนผันแปร} = \text{ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง} + \text{ค่าน้ำมันหล่อลื่น} + \text{ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา} + \text{ค่าแรงงานคนขับ} + \text{ค่าต้นกำลัง}$$

	ความสามารถในการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย	25	ไร่/ชั่วโมง
	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	30	บาท/ลิตร
	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	2	ลิตร/ชั่วโมง
ดังนั้น	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ $(30 \times 2)/25$	=	2.4 บาท/ไร่
	ค่าน้ำมันหล่อลื่น	6	บาท/ชั่วโมง
ดังนั้น	ค่าน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับ $6/25$	=	0.24 บาท/ไร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา เครื่องหว่านปุ๋ย 6.67% ของราคาแรกซื้อต่อ 100 ชั่วโมงทำงาน

(Hunt 1995)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาเท่ากับ} & (6.67/100) \times 30,000/100 = 20.01 \text{ บาท/ชั่วโมง} \\ & = 20.01/25 = 0.8004 \text{ บาท/ไร่} \end{aligned}$$

ค่าแรงงานคนจับ 180 บาท/วัน(วันละ 8 ชั่วโมงทำงาน) คิดเป็น $180/8 = 22.5$ บาท/ชั่วโมง

$$\text{ดังนั้น ค่าแรงงานคนจับเท่ากับ} \quad 22.5/25 = 0.9 \text{ บาท/ไร่}$$

ค่าดันทิ้ง(ค่าจ้างแทรกเตอร์) 250 บาท/ชั่วโมง

$$\text{ดังนั้น ค่าดันทิ้งเท่ากับ} \quad 250/25 = 10 \text{ บาท/ไร่}$$

$$\text{ต้นทุนผันแปร} = 2.4 + 0.24 + 0.8004 + 0.9 + 10 = 14.3404 \text{ บาท/ไร่}$$

ในการพิจารณาเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้งานเครื่องหว่านปุ๋ยสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน จะเปรียบเทียบต้นทุนในการหว่านปุ๋ยด้วยวิธีปกติ และต้นทุนที่จะเกิดขึ้นหากเกษตรกรถือครองเครื่องหว่านปุ๋ยเป็นของตนเอง ในที่นี้ ได้คำนวณต้นทุนไว้ในหน่วย บาทต่อไร่ พบว่าต้นทุนของการหว่านปุ๋ยโดยวิธีปกติเท่ากับ 39.85 บาท/ไร่ ในขณะที่ต้นทุนที่จะเกิดขึ้นหากเกษตรกรถือครองเครื่องหว่านปุ๋ยเป็นของตนเอง เท่ากับ ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปรดังที่ได้คำนวณไว้ หากสมมุติว่าเครื่องหว่านปุ๋ยมีการะในการทำงานเท่ากับ A ไร่/ปี จะได้ว่า

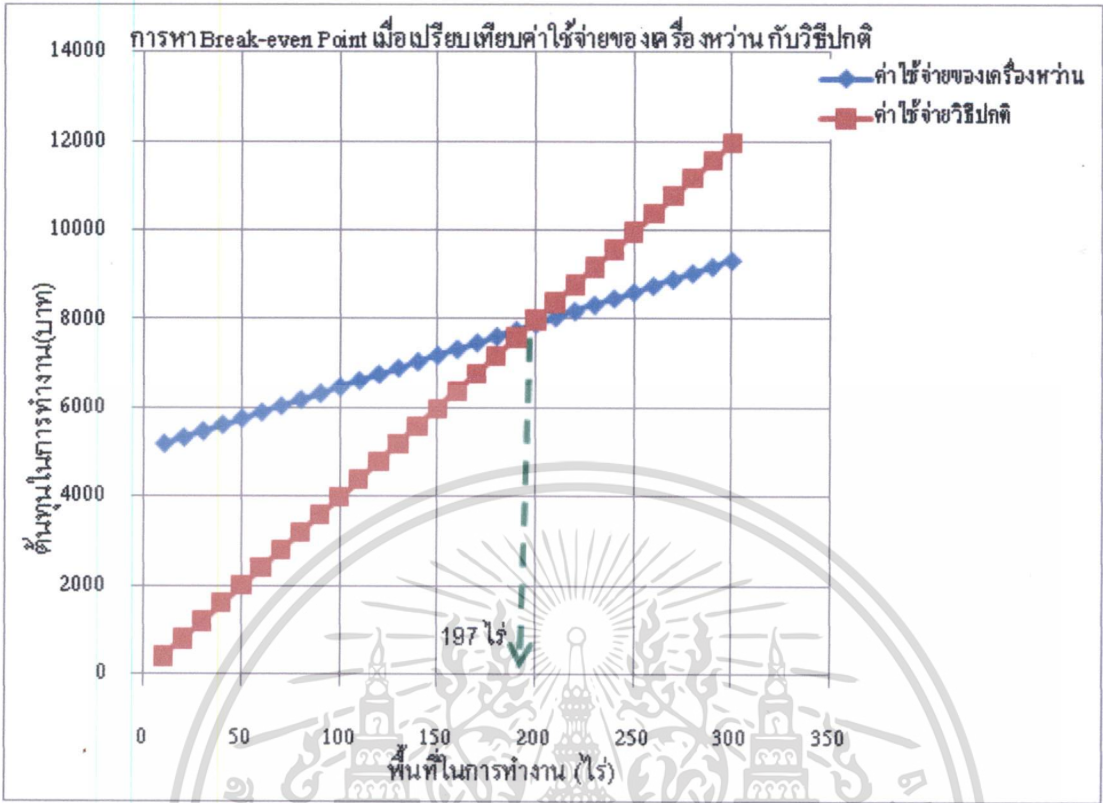
$$\text{ต้นทุนในการถือครองเครื่องหว่านปุ๋ย} = (5,025/A) + 14.3404 \text{ บาท/ไร่}$$

จะพบว่า ถ้าต้องการหาภาระงานที่เหมาะสมของเครื่องหว่านปุ๋ยอย่างน้อยที่สุดเพื่อให้คุ้มค่าในการทำงาน(Break-even Point) สามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบต้นทุนการหว่านปุ๋ยทั้งสองวิธีดังนี้

$$\text{ต้นทุนหว่านปุ๋ยโดยวิธีปกติ(บาท/ไร่)} = \text{ต้นทุนการถือครองเครื่องหว่านปุ๋ย (บาท/ไร่)}$$

$$39.85 = (5,025/A) + 14.3404$$

$$A = 197 \text{ ไร่}$$



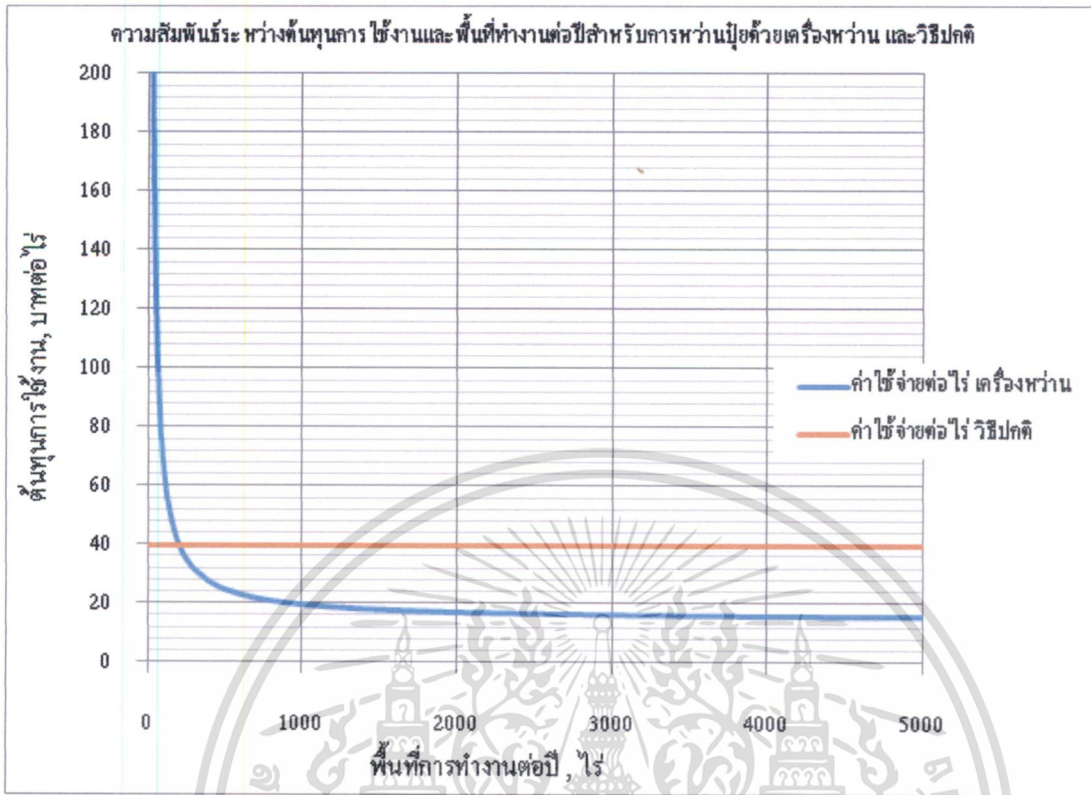
รูปท 5.2 การหาจุดคุ้มทุน

ดังนั้น หากเกษตรกรต้องการจะถือครองเครื่องหว่านปุ๋ยมีข้อพิจารณาเบื้องต้นคือ จำเป็นต้องมีพื้นที่ในการทำงานไม่ต่ำกว่า 197 ไร่ต่อปี หรือ ควรมีพื้นที่ปลูกปาล์มของตนเองไม่ต่ำกว่า 197/3 หรือ 66 ไร่ (เนื่องจากในหนึ่งปีมีการหว่านปุ๋ยสามครั้ง)

5.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ภาพรวมของเกษตรกร ในกรณีที่ต้องการจะลงทุนซื้อเครื่องหว่านปุ๋ยไว้ใช้เอง จากการคำนวณพบว่าเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมัน ที่สมควรซื้อเครื่องหว่านปุ๋ยไว้ใช้เองในครัวเรือนควรมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันไม่น้อยกว่า 66 ไร่(197/3 ในหนึ่งปีจะใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง) และสำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกขนาดน้อยกว่า 66 ไร่ ที่มีความสนใจก็อาจซื้อแบบร่วมหุ้นกัน (สหกรณ์) โดยมีข้อพิจารณาคือ เมื่อรวมพื้นที่ปลูกแล้วไม่น้อยกว่า 66 ไร่ และในทางปฏิบัติจริงเกษตรกรผู้ถือครองเครื่องหว่านปุ๋ย สามารถนำเครื่องหว่านปุ๋ยไปปรับจ้างหว่านปุ๋ยเพื่อ เพิ่มพื้นที่ในการทำงานให้มาก ยิ่งขึ้นกว่าค่าที่คำนวณได้ เพราะยังได้พื้นที่ทำงานมากขึ้น เท่าไร ก็จะสามารถคืนทุนได้เร็วยิ่งขึ้น โดยดูมีรายละเอียดเพิ่มเติม ตาม รูปที่ 5.3 และ ตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการใช้งานกับพื้นที่ทำงานต่อปี

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาราคาต้นทุนการใช้งานเครื่องหว่านปุ๋ย จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อพื้นที่มากขึ้น โดยเมื่อทำงานมากกว่า 197 ไร่ต่อปี ต้นทุนการทำงานต่อไร่ของเครื่องหว่านปุ๋ยจะเริ่มต่ำกว่าวิธีปกติ ดังนั้น ในกรณีของผู้รับจ้างหว่านปุ๋ย การพิจารณาอัตราจ้างจะขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ทำงานที่ตนสามารถทำได้ต่อปี ยิ่งได้พื้นที่รับจ้างหว่านปุ๋ยมาก ต้นทุนก็จะยิ่งลดลง เช่น เมื่อทำงาน 500 1,000 2,000 และ 3,000 ไร่ พบว่าต้นทุนต่อไร่เท่ากับ 24.39 19.37 16.86 และ 16.02 บาท ตามลำดับ ในการพิจารณาพื้นที่ทำงานต่อปี เกษตรกรต้องพิจารณาพร้อมกับความสามารถทางไร่ของเครื่องหว่านปุ๋ยที่ 25 ไร่/ชั่วโมง เพื่อกำหนดให้ได้ว่าจำเป็นต้องหาชั่วโมงการทำงานต่อปีเท่าใด เช่น ทำการหว่าน 3,000 ไร่ต่อปี คิดเป็นชั่วโมงทำงานต่อปีเท่ากับ 120 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าน้อยมาก เพราะในฤดูหว่านปุ๋ย (ฤดูฝน) 4 เดือน มีโอกาสทำการหว่านได้ไม่น้อยกว่า 900 ชั่วโมงต่อปี

ในการพิจารณาอัตราจ้าง ควรกำหนดอัตราจ้างไม่เกินกว่าต้นทุนด้านแรงงานในการหว่านปุ๋ยโดยวิธีปกติคือ 39.85 บาท/ไร่ ในที่นี้พิจารณาอัตราจ้างของเครื่องหว่านปุ๋ยเพียง 30 บาท/ไร่ เพื่อคำนวณระยะเวลาต้นทุน ในการลงทุนซื้อเครื่องหว่านปุ๋ยเพื่อใช้รับจ้างหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงระยะเวลาคืนทุนในกรณีรับจ้างหว่านปุ๋ย

พื้นที่ใช้งาน (ไร่)	ค่าใช้จ่าย			รายรับ (บาท)	กำไรจริง (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
	Fix Cost	Variable Cost	Total Cost			
10	5025	143.404	5168.404	300	-4868.4	-6.16
20	5026	286.808	5312.808	600	-4712.81	-6.37
30	5027	430.212	5457.212	900	-4557.21	-6.58
40	5028	573.616	5601.616	1200	-4401.62	-6.82
50	5029	717.02	5746.02	1500	-4246.02	-7.07
60	5030	860.424	5890.424	1800	-4090.42	-7.33
70	5031	1003.828	6034.828	2100	-3934.83	-7.62
80	5032	1147.232	6179.232	2400	-3779.23	-7.94
90	5033	1290.636	6323.636	2700	-3623.64	-8.28
100	5034	1434.04	6468.04	3000	-3468.04	-8.65
110	5035	1577.444	6612.444	3300	-3312.44	-9.06
120	5036	1720.848	6756.848	3600	-3156.85	-9.50
130	5037	1864.252	6901.252	3900	-3001.25	-10.00
140	5038	2007.656	7045.656	4200	-2845.66	-10.54
150	5039	2151.06	7190.06	4500	-2690.06	-11.15
160	5040	2294.464	7334.464	4800	-2534.46	-11.84
170	5041	2437.868	7478.868	5100	-2378.87	-12.61
180	5042	2581.272	7623.272	5400	-2223.27	-13.49
190	5043	2724.676	7767.676	5700	-2067.68	-14.51
200	5044	2868.08	7912.08	6000	-1912.08	-15.69
210	5045	3011.484	8056.484	6300	-1756.48	-17.08
220	5046	3154.888	8200.888	6600	-1600.89	-18.74
230	5047	3298.292	8345.292	6900	-1445.29	-20.76
240	5048	3441.696	8489.696	7200	-1289.7	-23.26
250	5049	3585.1	8634.1	7500	-1134.1	-26.45
260	5050	3728.504	8778.504	7800	-978.504	-30.66
270	5051	3871.908	8922.908	8100	-822.908	-36.46
280	5052	4015.312	9067.312	8400	-667.312	-44.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

290	5053	4158.716	9211.716	8700	-511.716	-58.63
300	5054	4302.12	9356.12	9000	-356.12	-84.24
400	5055	5736.16	10791.16	12000	1208.84	24.82
500	5056	7170.2	12226.2	15000	2773.8	10.82
600	5057	8604.24	13661.24	18000	4338.76	6.91
700	5058	10038.28	15096.28	21000	5903.72	5.08
800	5059	11472.32	16531.32	24000	7468.68	4.02
900	5060	12906.36	17966.36	27000	9033.64	3.32
1000	5061	14340.4	19401.4	30000	10598.6	2.83
1100	5062	15774.44	20836.44	33000	12163.56	2.47
1200	5063	17208.48	22271.48	36000	13728.52	2.19
1300	5064	18642.52	23706.52	39000	15293.48	1.96
1400	5065	20076.56	25141.56	42000	16858.44	1.78
1500	5066	21510.6	26576.6	45000	18423.4	1.63
2000	5067	28680.8	33747.8	60000	26252.2	1.14
2500	5068	35851	40919	75000	34081	0.88
3000	5069	43021.2	48090.2	90000	41909.8	0.72
3500	5070	50191.4	55261.4	105000	49738.6	0.60
4000	5071	57361.6	62432.6	120000	57567.4	0.52
4500	5072	64531.8	69603.8	135000	65396.2	0.46
5000	5073	71702	76775	150000	73225	0.41
5500	5074	78872.2	83946.2	165000	81053.8	0.37
6000	5075	86042.4	91117.4	180000	88882.6	0.34
6500	5076	93212.6	98288.6	195000	96711.4	0.31
7000	5077	100382.8	105459.8	210000	104540.2	0.29
7500	5078	107553	112631	225000	112369	0.27
8000	5079	114723.2	119802.2	240000	120197.8	0.25
8500	5080	121893.4	126973.4	255000	128026.6	0.23
9000	5081	129063.6	134144.6	270000	135855.4	0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 จะพบว่า เมื่อพิจารณาอัตรารับจ้างที่ 30 บาท/ไร่ เกษตรกรต้องหาพื้นที่ทำการหว่านปุ๋ยต่อปีไม่ต่ำกว่า 600 ไร่ เพื่อให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่า อายุการใช้งานของเครื่องหว่านปุ๋ย ทางเศรษฐศาสตร์ที่ระบุไว้ในการคำนวณที่ 8 ปี และถ้าหากทำการหว่านได้ถึง 2400 ไร่ต่อปี ก็จะสามารถคืนทุนได้ภายในปีแรกที่ซื้อเครื่องหว่าน

5.6 ข้อเสนอเพิ่มเติมในวิทยานิพนธ์

ผลที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จะเห็นว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้น้ำมันสูงมากถึง 585 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งให้น้ำมันไม่ถึง 100 กิโลกรัมต่อไร่ และทุกๆ 1000 กิโลกรัมของผลผลิตที่ได้จะสูญเสียธาตุอาหารในดินเป็นอย่างมาก การจัดการกับสวนปาล์มน้ำมันโดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้ปุ๋ยเคมีมีความสำคัญมากกับปาล์มน้ำมัน เพื่อชดเชยธาตุอาหารที่สูญเสียไปให้ทันกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้ปุ๋ยเคมีถึงปีละ 3 ครั้ง

ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีใครที่ทำเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับสวนปาล์มน้ำมันอย่างจริงจัง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สร้าง เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีขึ้นมา 2 แบบคือแบบใช้งานเหยียงหนีศูนย์กลางและระบบลมเป่ากระจายปุ๋ยเคมี นำเครื่องทั้ง 2 เครื่องมาทดสอบเปรียบเทียบกันเพื่อหาความเหมาะสม มีความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ แยกออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 การหว่านปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มนั้นต้องกระทำให้ทัน เครื่องหว่านปุ๋ยเคมีต้องสามารถปรับแต่งปริมาณปุ๋ยเคมีให้เหมาะสมกับความต้องการในแต่ละช่วงอายุและความต้องการพืช เพื่อจะได้นำไปใช้ประโยชน์ให้ได้ทันกับการออกผลผลิต ระบบลมเป่ากระจายปุ๋ยเคมี ราคาสูงและประมาณ 80% ของราคาเครื่องไปตกอยู่กับ ไปเวอร์และการกระจายตัวของปุ๋ยเคมียังไม่สม่ำเสมอจะจึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริง เกษตรกรควรนำแบบงานเหยียงหนีศูนย์กลาง ไปสร้างและปรับปรุงให้เหมาะสมกับพื้นที่ของแต่ละสวน แบบงานเหยียงหนีศูนย์กลางมีกลไกไม่ยุ่งยาก เกษตรกรสามารถสร้างและซ่อมแซมได้ง่าย ราคาไม่สูง สามารถเอาวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ตามทำประโยชน์ได้อีก การกระจายตัวของปุ๋ยเคมีมีความสม่ำเสมอ

ส่วนที่ 2 เป็นการเสนอแนะถึงจุดคุ้มทุนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประมาณราคาเครื่องหว่านปุ๋ยเคมีแบบงานเหยียงหนีศูนย์กลางไว้ที่ 30,000 บาทซึ่งเป็นราคาที่สูง แต่เพื่อให้เกษตรกรได้เห็นภาพได้ชัด จะเห็นได้ว่าถ้าเกษตรกรมีพื้นที่สวนปาล์มน้ำมัน ประมาณ 66 ไร่ในเวลา 8 ปีเกษตรกรจะคุ้มค่าในการลงทุน แต่ถ้าเกษตรกรมีการรับจ้างหว่านปุ๋ยเคมีให้กับเพื่อเกษตรกร ก็จะคุ้มทุนเร็วขึ้น

บรรณานุกรม

- ฝ่ายวิจัยปาล์มน้ำมัน สำนักวิจัยและพัฒนาปาล์มน้ำมัน ,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2540. การใช้ปุ๋ย และการจัดปาล์มสวนน้ำมัน. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ,ชัยรัตน์ นิลนนท์,ธีระพงศ์ จันทรมนิยม,ประกิจ ทองคำ และวรา เลี้ยววาริณ. 2546, คู่มือปาล์มน้ำมัน และการจัดการสวน. สงขลา: ฝ่ายวิจัยปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน, 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมันศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์ม น้ำมัน. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัยรัตน์ นิลนนท์,ธีระพงศ์ จันทรมนิยม,ประกิจ ทองคำและธีระ เอกสมทราเมษฐ. 2544 . การใช้ปุ๋ยสำหรับ ปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ฝ่ายวิจัยปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์. 2542. เครื่องจักรกลเกษตร เล่ม 1. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์. 2543. เครื่องจักรกลเกษตร เล่ม 2. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. 2547. วิศวกรรมการขนถ่ายวัสดุ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์,พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และสาธิป รัตนภาสกร, 2538 สมบัติทางกายภาพและ วิศวกรรมของซีวีวัสดุ ,กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พินัย ทองสวัสดิ์วงศ์. 2546. การศึกษาการใช้และออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยคอก. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- มงคล คราพันธ์และคณะ, 2547. เครื่องโรยปุ๋ยอย่างพารา. นครราชสีมา: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- อรัญญา ศรีวิโรจน์. 2554. 21 มกราคม ส่วนเศรษฐกิจภาค ธนาคารแห่งประเทศไทยสำนักงานภาคใต้.
- เกาะข่าวเกษตร. 2553. 4 พฤษภาคม. เดลินิวส์. หน้า 10.

Ajit K. Srivastava . 1993. **Engineering Principles of Agricultural Machines** , USA : Michigan State University.

H.BERNACKI, et al, 1972 . **Agricultural Machines, Theory and Construction**. USA: Department of Commerce , Nation Technical Information Service .

Hunt. D. 1995. **Farm Power and Machinery Management**. 9 Edition, Library of Congress Cataloging in Publiction Data :112-114 , 263-268.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การคำนวณ(หาปริมาณปุ๋ยต่อไร่)

จากข้อมูลเบื้องต้นนำมาหาอัตราความต้องการธาตุอาหารของดินป่าส้มในพื้นที่ 1 ไร่

$$1 \text{ ไร่} = 1,600 \text{ m}^2$$

$$\text{จากความเร็วรถ 5 km/h} = 5,000 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times \frac{\text{h}}{60 \text{ min}} = 83.33 \text{ m/min}$$

$$\text{หน้ากว้างในการทำงาน} = 83.33 \text{ m/min} \times 15.6 \text{ m} = 1300 \text{ m}^2/\text{min}$$

$$\text{ยูเรีย} = 1514.13 \text{ กรัม/ตัน} \times 22 \text{ ตัน} = 33,310.86 \text{ กรัม/ไร่} \frac{33,310.86 \text{ g}}{1600 \text{ m}^2} = 20.82 \text{ g/m}^2$$

$$\frac{20.82 \text{ g/m}^2 \times 1300 \text{ m}^2/\text{min}}{1000} = 27.066 \text{ kg/min}$$

$$\text{ครั้งที่ 1} = 13.53 \text{ kg/min}, \text{ครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3} = 6.77 \text{ kg/min}$$

$$\text{DAP} = 1050 \text{ กรัม/ตัน} \times 22 \text{ ตัน} = 23100 \text{ กรัม/ไร่} \frac{23100 \text{ g}}{1600 \text{ m}^2} = 14.437 \text{ g/m}^2$$

$$\frac{14.437 \text{ g/min} \times 1300 \text{ m}^2/\text{min}}{1000} = 18.77 \text{ kg/min}$$

$$\text{ครั้งที่ 1} = 9.384 \text{ kg/min}, \text{ครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3} = 4.7 \text{ kg/min}$$

$$\text{KCL} = 2,800 \text{ กรัม/ตัน} \times 22 \text{ ตัน} = 61,600 \text{ กรัม/ไร่} \frac{61600 \text{ g}}{1600 \text{ m}^2} = 38.5 \text{ g/m}^2$$

$$\frac{38.5 \text{ g/min} \times 1300 \text{ m}^2/\text{min}}{1000} = 50.05 \text{ kg/min}$$

$$\text{ครั้งที่ 1} = 25.02 \text{ kg/min}, \text{ครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3} = 12.5 \text{ kg/min}$$

$$\text{Mg} = 700 \text{ กรัม/ตัน} \times 22 \text{ ตัน} = 15400 \text{ กรัม/ไร่} \frac{15400 \text{ g}}{1600 \text{ m}^2} = 9.625 \text{ g/m}^2$$

$$\frac{9.625 \text{ g/min} \times 1300 \text{ m}^2/\text{min}}{1000} = 12.512 \text{ kg/min}$$

$$\text{ครั้งที่ 1} = 6.25 \text{ kg/min}, \text{ครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3} = 3.128 \text{ kg/min}$$

$$\text{Bo} = 56 \text{ กรัม/ตัน} \times 22 \text{ ตัน} = 1232 \text{ กรัม/ไร่} \frac{1232 \text{ g}}{1600 \text{ m}^2} = 0.77 \text{ g/m}^2$$

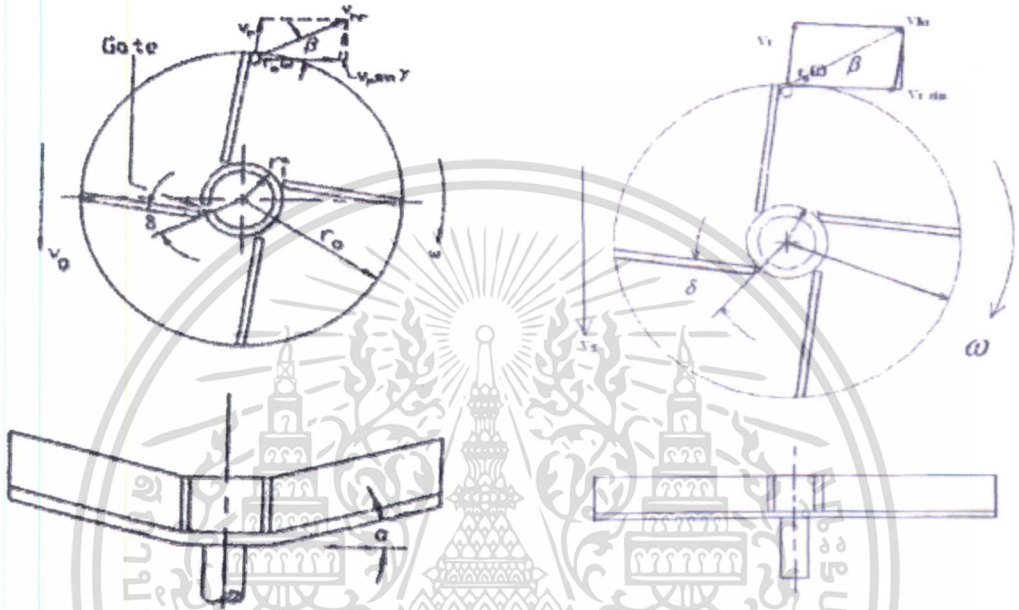
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{0.77 \text{ g / min} \times 1300 \text{ m}^2 / \text{min}}{1000}$$

$$= 1.001 \text{ kg/min}$$

ครั้งที่ 1 = 0.5 kg/min , ครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 = 0.25 kg/min

2.ออกแบบอุปกรณ์หัวานปุ๋ยแบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Disc)



ก) จานเหวี่ยงตามทฤษฎี

ข) จานเหวี่ยงที่ออกแบบ

ก.จานเหวี่ยงตามทฤษฎี (Ajit K. Srivastava, 1993) ข.จานเหวี่ยงที่สร้างขึ้นใหม่

θ เป็นระยะทางเชิงมุมที่จานเหวี่ยงหมุนไปโดยนับตั้งแต่ปุ๋ยร่วงจากจุดปล่อย (r_i) จนวิ่งออกจากปลายครีบบนจาน (r_o) หาได้จากสมการต่อไปนี้ (Ajit K. Srivastava, 1993)

$$v_r = \frac{\omega}{2c_1} (c_5 r_i - \frac{fg}{\omega^2}) (e^{c_2(c_1-f)\theta} - e^{-c_2(c_1+f)\theta})$$

$$V_{hr} = \sqrt{(v_r \cos\alpha \cos\gamma)^2 + (r_o \omega + v_r \cos\alpha \sin\gamma)^2}$$

$$\gamma = \arctan (r_i \tan \delta / (r_o - r_i))$$

V_r = ความเร็วสัมผัสของเม็ดปุ๋ยกับจานเหวี่ยง

f = ค่าความเสียดทานระหว่างจานเหวี่ยงและเม็ดปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$c_1 = (f^2 + c_4 / c_2)^{0.5}$$

$$c_2 = \cos \alpha$$

$$c_3 = \sin \alpha + f \cos \alpha$$

$$c_4 = \cos \alpha - f \sin \alpha$$

$$c_5 = \cos \delta - f \sin \delta$$

$$r_i = \text{รัศมีภายในของครีบบีพัด (m)}$$

$$r_o = \text{รัศมีภายนอกของครีบบีพัด (m)}$$

$$\omega = \text{ความเร็วเชิงมุมของจานเหวี่ยง (rad/s)}$$

ค่าที่ได้จากการออกแบบจานเหวี่ยงมีดังนี้

$$r_i = 0.05 \text{ m}$$

$$r_o = 0.20 \text{ m}$$

$$\delta = -30^\circ$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$f_{\text{Urea}} = 0.466, \quad f_{\text{TSP}} = 0.642, \quad f_{\text{KCL}} = 0.531, \quad f_{\text{Bo+Mg}} = 0.600$$

$$\theta_{\text{Urea}} = 25^\circ, \quad \theta_{\text{TSP}} = 32^\circ, \quad \theta_{\text{KCL}} = 28^\circ, \quad \theta_{\text{Bo+Mg}} = 31^\circ$$

$$C_5 = \cos \delta - f \sin \delta = \cos -30^\circ - 0.466 \sin -30^\circ$$

$$C_5 = 0.866 - 0.466(-0.5) = 1.099$$

$$C_4 = \cos \alpha - f \sin \alpha = \cos 0^\circ - 0.466 \sin 0^\circ$$

$$C_4 = 1 - 0 = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_3 = \sin \alpha + f \cos \alpha = \sin 0^\circ + 0.466 \cos 0^\circ$$

$$C_3 = 0 + 0.466 = 0.466$$

$$C_2 = \cos \alpha = \cos 0^\circ$$

$$C_2 = 1$$

$$C_1 = (f^2 + C_4/C_2)^{0.5} = (0.466^2 + 1/1)^{0.5}$$

$$C_1 = 1.103$$

$$\omega = 2\pi n = 2\pi (1600/60) = 167 \text{ rad/sec}$$

n = จำนวนรอบของจานเหวี่ยง

$$f(\theta) = \frac{r_0 - \frac{c_3 g}{c_4 \omega^2} (c_1 + f)e^{c_2(c_1 - f)\theta} + (c_1 - f)e^{c_2(c_1 + f)\theta}}{c_5 r_1 - \frac{c_3 g}{c_4 \omega^2} 2c_1}$$

$$f(\theta) = \frac{0.2 - \frac{0.466 \times 9.81}{1 \times 167^2}}{1.099(0.05) - \frac{0.466 \times 9.81}{1 \times 167^2}}$$

$$= \frac{(1.103 + 0.466)e^{1(1.103 - 0.466)\theta} + (1.103 - 0.466)e^{1(1.103 + 0.466)\theta}}{2(1.103)}$$

$$8.0461 = 1.569e^{0.637\theta} + 0.637e^{1.569\theta}$$

$$\text{จะได้มุม } \theta = 71.86^\circ = 1.25 \text{ rad}$$

แทนค่าต่างๆในสมการ 1,2,3 แล้วจะได้

$$V_r = \frac{167}{2 \times 1.103} (1.099 \times 0.05 - \frac{0.466 \times 9.81}{167^2}) (e^{1(1.103 - 0.466)1.25} - e^{-1(1.5 + 0.466)1.25})$$

$$V_r = 8.67 \text{ m/s}$$

$$\gamma = \arctan \frac{(0.05 \times \tan(-30^\circ))}{(0.2 - 0.05)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = -10.9^\circ$$

$$V_{hr} = \sqrt{(8.67 \cos 0^\circ \cos(-10.9^\circ))^2 + ((0.2)(167) + 8.67 \cos 0^\circ \sin(-10.9^\circ))^2}$$

$$V_{hr} = 33 \text{ m/s} = 118.8 \text{ km/hr}$$

$$\beta = \arctan (V_r \cos \alpha \cos \gamma / (r_o \omega + V_r \cos \alpha \sin \gamma))$$

$$= \arctan (8.67 \cos 0^\circ \cos -10.9^\circ / ((0.2)(167) + (8.67 \cos 0^\circ \sin -10.9^\circ))) = 15^\circ$$

การคำนวณหาระยะส่งปุย $h = \frac{\ln(C_6 h_0 t + 1)}{C_6}$

h = ระยะทางตามแนวราบ

h_0 = ความเร็วที่ออกที่ออกจากงานเหวี่ยง ($h_0 = V_{hr}$)

$$C_6 = \frac{0.75(C_D \rho_{air})}{\rho_{เม็ดปุย} d_{เม็ดปุย}}$$

ใช้สำหรับอนุภาคที่เป็นทรงกลม

$$t = \frac{\ln(\text{Arg} + \sqrt{\text{Arg}^2 - 1})}{2C_6 C_7}$$

ระยะเวลาในการเคลื่อนที่

เมื่อความดันบรรยากาศคือ 100 kpa และอุณหภูมิโดยรอบ 25 °

$$d_{urea} = 0.00324 \text{ m}, d_{TSP} = 0.00018 \text{ m}, d_{KCL} = 0.00323 \text{ m}, d_{Bo} = 0.00051 \text{ m}$$

$$d_{Mg} = 0.00075 \text{ m}$$

$$\rho_{urea} = 1118.4 \text{ kg/m}^3, \rho_{TSP} = 1927.5 \text{ kg/m}^3, \rho_{Bo} = 1268.5 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{KCL} = 1351.6 \text{ kg/m}^3, \rho_{Mg} = 1670 \text{ kg/m}^3, \rho_{air} = 1184 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{จาก } \mu_a = 4.79 \times 10^{-6} \times e^{0.678 + 0.00227 \theta_a}$$

$$\theta_a = \text{อุณหภูมิห้อง} (25^\circ \text{C}) + 273 = 298 \text{ K}$$

$$\mu_a = 4.79 \times 10^{-6} \times e^{0.678 + (0.00227(298))}$$

$$\mu_a = 1.856 \times 10^{-5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จาก } N_{re} = \frac{d_{เม็ดปุ๋ย} V_{hr} \rho_{air}}{\mu}$$

$$N_{re} = \frac{(0.00324)(33)(1.184)}{1.856 \times 10^{-5}}$$

$$N_{re} = 6884.83$$

$$\text{จาก } C_D = \frac{24}{N_{re}}$$

สำหรับ $N_{re} \leq 1$

$$C_D = (26.38 N_{re}^{-0.845} + 0.49)$$

สำหรับ $N_{re} > 1$

เมื่อ $N_{re} > 1$ จะได้

$$C_D = ((26.38 \times 6884.83^{-0.845}) + 0.49)$$

$$C_D = 0.5$$

คำนวณหา C_6 และ C_7

$$\text{เมื่อ } C_6 = \frac{0.75(C_D \rho_{air})}{\rho_{เม็ดปุ๋ย} d_{เม็ดปุ๋ย}} = \frac{0.75 \times 0.505 \times 1.184}{(1118.4)(0.00324)} = 0.124$$

$$C_7 = (g/c_6)^{0.5} = (9.81/0.124)^{0.5} = 8.895$$

$$\text{แทนค่าแล้วจะได้ } t = \frac{\ln(\text{Arg} + \sqrt{\text{Arg}^2 - 1})}{2C_6 C_7} = \frac{\ln(1.356 + \sqrt{1.356^2 - 1})}{(2)(0.124)(8.895)} = 0.372 \text{ sec}$$

$$\text{Arg} = 2e^{((2)(c_6)(z)) - 1} = 2e^{((2)(0.124)(0.66)) - 1} = 1.356$$

Z = ความสูงจากพื้นถึงงานเหวี่ยง = 0.66 เมตร

แทนค่าต่างๆในสมการ (2.6) จะได้

$$h = \frac{\ln((0.124)(33)(0.372)+1)}{0.124}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h = 7.46$ เมตร

ระยะส่งเมื่คีย์ยูเรียจะเท่ากับ 7.46 เมตร

3. การคำนวณระบบลม

3.1 การคำนวณหาขนาด blower

ค่า mean bulk density ของปุ๋ยทั้ง 4 ชนิดเท่ากับ 1038.25 kg/m^3

หาความเร็วลมโดยใช้ pittot tube วัดความเร็วลมจากท่อทางอ้อมทั้ง 2 ด้านซึ่งได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 3.4 ΔH ของท่อทั้ง 2 ข้าง

ครั้งที่	ΔH	
	ซ้าย(mmWg)	ขวา(mmWg)
1	127	129
2	126	126
3	127	128

$$\Delta h = \frac{126.76 - 127.67}{2} = 127.71 \text{ mmwg}$$

$$V = \frac{\sqrt{2gh(\rho_m - \rho)}}{\rho}$$

$$V = \sqrt{\frac{2(9.81)(1000 - 1.2)(127.71)}{1.2 \cdot 1000}}$$

$$V = 45.667 \text{ m/s}$$

Volumetric air flow rate $Q = \frac{\pi}{4}(0.084)^2 \times 45.667 = 0.235 \text{ m}^3/\text{s}$

Mass fertilizer flow rate ที่ ป่าล้มต้องการ 50% คือ

ยูเรีย	0.25 kg/s
DAP	0.16 kg/s
Kcl	0.43 kg/s
Mg+Bo	0.12 kg/s
รวม	0.96 kg/s

Mass air flow rate $\dot{m} = \rho Q = (1.2)(0.253) = 0.3036 \text{ kg/s}$

Mass flow ratio, $\phi = \frac{0.96}{0.3036} = 3.162$

Reynolds number $= \frac{\rho v D}{\mu} = 1.2 \frac{(45.667)(0.084)}{10^{-5}} = 4.6032 \times 10^5$

1. Acceleration pressure loss

$$\Delta P = \phi_m v p c$$

จาก $\frac{c}{v} = 1 - 0.68 dp^{0.92} \rho_p^{0.5} \rho^{-0.2} D^{0.54}$

Diameter of particle (dp) คือค่าเฉลี่ยของเม็ดปุ๋ยซึ่งมีค่าดังนี้

ยูเรีย	3.24 mm
DAP	3.23 mm
KcL	1.80 mm
Mg + Bo	0.51 mm
Dp รวม	8.78 mm

$$\frac{c}{v} = 1 - [(0.68)(0.087)^{0.92}(1847.5)^{0.5}(1.2)^{-0.2}(0.084)^{0.54}] = 0.436$$

$$c = 19.93 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Line Pressure loss

$$\Delta P_L = \lambda_L \frac{\rho}{2} v^2 \frac{L}{D}$$

$$\text{จาก } \frac{\lambda_L}{4} = 0.0014 + 0.125 R_e^{-0.32}$$

$$\begin{aligned} \lambda_L &= 0.0014 + 0.125(4.6032 \times 10^5)^{-0.32} \\ &= 3.32 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_L &= (3.32 \times 10^{-3}) \left(\frac{1.2}{2}\right) (45.667)^2 \\ &= 0.033 \text{ kPa} \end{aligned}$$

3. Pressure drop due to lift height

$$\Delta P_g = \rho^* g \Delta z$$

$$\rho^* = \frac{Q_m v \rho}{c}$$

$$= \frac{(4.12)(45.667)(1.2)}{19.93} = 11.32 \text{ km/m}^3$$

$$\Delta P_g = (11.32)(9.82)(0.7723) = 0.0857 \text{ kPa}$$

4. Pressure drop due to solid

$$\Delta P_s = \phi_m \lambda_s \frac{\rho}{2} v^2 \frac{L}{D}$$

$$\lambda_s = \frac{0.0285 \sqrt{gD}}{c} = \frac{0.0285 \sqrt{(9.81)(0.084)}}{7.62} = 3.39 \times 10^{-3}$$

$$\Delta P_s = (3.162)(3.39 \times 10^{-3}) \left(\frac{1.2}{2}\right) (45.667)^2 \frac{(0.67)}{(0.084)} = 0.107 \text{ kPa}$$

5. Pressure loss in bend

$$L_{eg} = \frac{kD}{\lambda_L}$$

ค่า k ของ Regular 45 = 0.4

หาค่า k ของท่อลดขนาดโดย $\frac{A_2}{A_1} = \frac{56.4}{84} = 0.67$

เปิดตารางได้ค่า k = 0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{eg} = \frac{(0.4)(0.084)}{3.32 \times 10^{-3}} = 10.12 \text{ m}$$

มีทั้งหมด 4 ซ้อนได้

$$L_{eg} = 4 \times 10.12 = 40 \text{ m}$$

$$\Delta P_{bair 2} = \frac{(0.033)(40.48)}{(2.15)} = 0.621 \text{ kPa}$$

ท่อลดขนาด

$$h_L = \frac{kv^2}{2g} = \frac{(0.18)(45.667)^2}{2(9.81)} = 19.132 \text{ m}$$

$$\Delta P_{bair 2} = \frac{(0.033)(19.132)}{(2.15)} = 0.293 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{bair} = 0.621 + 0.293 = 0.914 \text{ kPa}$$

$$\frac{\Delta P_{solid}}{\rho v^2} = 0.245 \left[\frac{m}{\rho v D^2} \right] \left[\frac{R}{D} \right]^{-0.26} = 0.245 \left[\frac{0.96}{1.2(45.667)(0.084)^2} \right] [5]^{-0.26} = 4$$

$$\Delta P_{bsolid} = (0.4)(1.2)(45.667)^2 = 1.001 \text{ kPa}$$

ดังนั้น Pressure drop ทั้งหมดคือ

$$\Delta P_{total} = 3.45 + 0.033 + 0.0857 + 0.107 + 0.914 + 1.0017 = 5.591 \text{ kPa}$$

กำลังของ Blower ที่ต้องการ หาจาก

$$P = \frac{\Delta P Q}{\eta_b}$$

โดยที่ η_b มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-0.7 เราเลือก

$$\eta_b = 0.6$$

$$P = \frac{(5.591) \left[\frac{\pi}{4} (0.084)^2 (45.667) \right]}{0.6} = 2.358 \text{ kw} \approx 3.162 \text{ hp}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ผลการทดลองของอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device)

ตารางที่ ข1.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับความเร็วรอบและปริมาณของปุ๋ยยูเรีย

ช่องเปิด	ปริมาณการจ่ายปุ๋ย ยูเรีย (kg / min)				
	50 rpm	60 rpm	70 rpm	80 rpm	90 rpm
1	2.15	2.15	2.18	2.14	2.22
2	4.62	5.02	5.57	5.89	6.18
3	5.79	6.39	7.23	7.83	8.21
4	6.49	7.58	8.59	9.42	10
5	7.59	8.43	9.73	10.75	11.47
6	8.49	9.53	10.92	12.14	13.1
7	9.34	10.54	12.17	13.55	14.69
8	10.05	11.41	13.56	14.87	16.14
9	10.1	12.15	14.59	15.66	17.95
10	10.17	12.85	14.66	16.02	18.47
11	10.6	12.95	14.96	16.16	18.57

ตารางที่ ข1.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับความเร็วรอบและปริมาณของปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต

ช่องเปิด	ปริมาณการจ่ายปุ๋ย ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (kg/min)				
	50 rpm	60 rpm	70 rpm	80 rpm	90 rpm
1	0.27	0.37	1.89	2.71	2.78
2	5.2	5.67	6.06	6.46	6.74
3	6.27	7.13	7.79	8.51	8.97
4	7.44	8.53	9.4	10.34	11.22
5	8.46	9.75	10.81	11.97	12.99
6	9.38	10.91	12.23	13.56	14.73
7	10.37	12.1	13.55	15.12	16.59
8	11.42	13.48	14.23	16.83	18.47
9	12.05	14.06	16.15	18.05	20.14
10	12.13	14.19	16.23	18.29	20.53
11	12.29	14.51	16.53	18.5	21.06

ตารางที่ ข1.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับความเร็วรอบและปริมาณของปุ๋ย
โพแทสเซียมคลอไรด์

ช่องเปิด	ปริมาณการจ่ายปุ๋ย โพแทสเซียมคลอไรด์ (kg / min)				
	50 rpm	60 rpm	70 rpm	80 rpm	90 rpm
1	3.806	4.3	4.41	4.48	4.55
2	5.772	6.98	8.1	8.1	8.62
3	7.18	8.64	9.83	10.22	11.18
4	8.38	9.99	11.52	12.3	13.93
5	9.7	12.06	13.7	14.78	16.38
6	10.83	13.71	15.4	16.76	19.04
7	12.16	15.28	17.71	18.85	21.22
8	14.18	17.41	19.72	21.43	24.02
9	14.36	18.32	21.35	22.9	26.36
10	14.74	18.65	22.08	23.5	27.16
11	15.08	18.86	22.63	23.86	27.47

ตารางที่ ข1.4 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับความเร็วรอบและปริมาณของปุ๋ยคอก
ผสมกับ โบแรกซ์

ช่องเปิด	ปริมาณการจ่ายปุ๋ยคอกผสมกับ โบแรกซ์ (kg / min)				
	50 rpm	60 rpm	70 rpm	80 rpm	90 rpm
3	4.02	3.18	3.26	3.52	3.48
4	5.28	4.74	5.06	5.4	4.8
5	5.44	5.72	6.78	6.58	6.2
6	6.88	7.9	7.74	8.08	8.38
7	11.14	8.34	9.34	9.86	9.2
8	12.94	11.36	11.38	10.2	12.02
9	14.5	13.68	12.38	11.42	13.02

ตารางที่ ข.2.1 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 90° ครั้งที่ 1

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

0	0	0	0	18.4	19.86	32.26	56.8	102.9	48.8	23.33	36.93	58	31.2	34.13	28.66	23.46
0	0	0	0	20.8	26	33.2	61.33	208.8	118.26	67.73	54.93	47.06	34.53	36	30.4	26.53
0	0	0	25.6	22.26	26.4	40.66	75.86	183.7	97.46	67.6	48.66	46.53	37.33	42.93	34.26	27.33
0	0	0	23.33	23.6	31.73	41.2	76.66	130.9	81.33	57.6	48.26	43.46	38.26	49.2	39.46	29.06
0	17.33	17.2	19.73	30.4	34.8	43.86	74.26	108.8	80.66	57.33	45.2	50.4	50.93	40.4	32.66	26.53
22.93	26.6	18.8	33.33	32.13	39.33	46	69.86	98.13	75.33	49.86	44.53	50.93	26	34	31.86	21.6
23.73	28.13	21.6	34.93	43.6	39.73	52.93	64.66	60.26	59.86	44.13	44.13	43.73	25.73	32.8	22	21.46
29.06	30.13	29.6	36.93	43.86	44.8	39.86	50.53	54.53	42.26	35.86	42.93	40.66	30.26	31.73	27.73	21.2
35.6	34.26	34.26	46.4	46.8	39.73	38.93	35.4	42.8	32.93	31.73	40.13	31.33	28.93	29.86	27.33	19.2
37.6	37.06	35.86	48.26	45.6	36.66	26.26	33.6	34.93	26	24.66	31.73	27.06	20.8	21.86	24.93	15.33
37.06	41.6	42.26	50.26	40.13	34.53	25.33	33.73	22	24.53	20.13	30.66	25.2	20.53	20.66	22.26	0
36.13	37.06	36.66	32.66	33.73	32.13	25.2	30.53	19.6	18.8	19.73	24.4	23.86	18.93	20.4	16.93	0
34.4	31.46	26.93	24.66	32.66	27.6	22.4	28.26	18.93	18.13	19.33	19.33	22	18	15.2	0	0
31.2	26	15.33	22.93	20.66	25.2	19.73	24	18.13	16.4	15.46	16.4	19.06	16.13	0	0	0

ตารางที่ ข 2.2 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดบู่ที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 90° ครั้งที่ 2

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมนต์ตารางเมตร)

0	22.93	20.4	26	20.66	22.66	27.06	60.66	100.26	88.13	42.93	36.26	17.2	36.53	24.53	29.73	19.73
0	24.66	22	22.93	19.46	24.93	32.26	62.4	84.13	88.93	76	52.53	21.46	32.4	42	28	34
0	25.06	16.26	20	22	27.6	43.73	58.93	112.4	96.6	73.2	45.33	26.8	39.86	34.93333	38.4	43.2
0	26.13	19.46	28.4	26.93	22.66	47.33	65.46	190.4	134.93	72.53	62.93	43.06	42	46.66667	32	34.13
0	27.86	20.4	31.86	33.6	43.73	45.2	90	103.8	71.46	63.6	42.93	38.13	34.93	54.53333	25.06	36.66
32.66	32.8	28.53	36.93	36.53	45.06	55.86	88.53	97.06	56.66	55.86	49.06	35.7	42	34.93333	21.6	32.9
24.66	31.33	32	33.06	52.26	51.73	54.53	58.13	56.53	55.06	35.46	38	32.26	41.6	32.93333	26.8	31.6
33.6	34.13	24.4	47.73	49.33	46.93	52.66	44.8	42.93	53.86	38.8	38.13	28.26	29.46	20.13333	17.6	30
22.26	42.13	35.86	54.93	45.06	45.6	47.2	31.46	38.8	46.53	32.53	35.73	27.06	21.6	21.2	18	21.6
28.66	43.2	53.06	52.53	46.93	36.26	44.8	31.86	29.6	32.26	34.93	30.4	21.6	19.46	21.73333	24.4	23.33
41.33	43.06	49.6	50.4	31.2	39.6	30	28.53	28.13	27.73	20.66	26.66	20.26	18.93	17.6	23.86	24.8
30.26	43.46	45.6	28.13	26.53	26.53	29.6	22	22.93	22.26	22.13	23.73	19.2	18.93	15.33333	25.33	13.06
32.26	36.13	31.86	27.2	24.66	25.46	25.86	17.2	22.8	19.46	24.26	23.46	18.4	17.46	18.26667	32.93	13.6
18	34.66	30.93	25.86	20.26	24.26	18.13	16.26	18.13	18.53	23.73	22.13	16.8	17.06	16.4	24.26	24.4

ตารางที่ ข 2.3 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 90° ครั้งที่ 3
ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมนต์ตารางเมตร)

16.8	18.67	18.27	18.93	42.53	30	23.47	64	37.87	58.67	51.2	41.47	36.13	27.87	22.4	27.07	26
17.33	16.27	19.6	21.6	20.93	26.13	32.53	57.33	81.6	92.27	42.4	46.53	48.8	39.87	25.2	40.8	30.4
16.4	11.33	14	16.53	12.67	29.6	37.33	60.67	135.2	85.33	67.33	49.87	31.33	37.73	43.47	36.27	23.2
14	14.53	23.2	24.67	19.47	23.2	43.73	48.4	130.27	65.47	94.13	102.4	18	39.47	44.53	36.8	27.87
8.8	7.33	16.8	21.47	22.13	35.33	44.53	60.8	110.53	72.93	94.8	40.53	43.33	46.93	49.07	38.53	30.67
10.53	11.2	22	25.47	19.2	36.27	43.73	48.27	120.8	57.47	62.4	34.67	36.67	37.33	38.4	33.47	16.53
8.67	14.93	26.13	43.47	29.87	45.6	46.67	52.93	51.87	36.27	59.2	32.13	48.8	41.47	36	22	16.13
25.2	15.33	35.2	41.73	34.8	48.93	44.4	52.93	51.73	28.8	38.93	18	54.67	22.27	16.8	20.27	17.07
15.33	22.93	40.27	43.33	45.07	53.6	40.67	39.87	52	38.4	35.6	19.2	45.2	19.07	19.07	19.47	17.6
16.8	35.2	42.67	57.07	43.73	34.4	25.87	37.73	50.67	47.73	35.33	22.8	33.73	26.53	21.33	18.4	24.8
31.47	23.07	44.67	43.07	41.6	27.33	45.33	36.8	27.87	30.13	26.93	21.33	29.73	16.4	22.8	16	19.07
26.53	19.33	26.53	37.87	30.93	27.07	42.93	27.73	26.4	29.6	28.67	21.87	26.53	16	23.73	15.73	0
26	16.53	26.27	27.73	30.4	22	31.47	25.07	24.53	22.53	24.27	27.73	25.2	16.13	24.27	0	0
23.87	16.13	22.67	18.8	28	18.8	25.73	20.27	16.27	19.2	24.67	15.73	23.33	22.53	19.6	0	0

ตารางที่ ข 2.4 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 120° ครั้งที่ 1

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

0	0	0	24.27	22.8	20.27	17.73	50	116.8	37.87	36.53	33.2	47.47	42.67	43.73	27.07	26
0	0	0	20.93	18	17.33	43.33	29.6	29.87	59.6	41.2	53.6	63.07	59.07	41.2	40.8	30.4
0	0	0	14	25.33	30.27	34.4	48.4	57.6	107.73	88.67	70.13	62	73.87	42.93	36.27	23.2
12.13	20.8	32.27	23.6	25.07	79.33	34.67	56.27	66.13	83.73	69.87	69.6	78.13	79.2	38.53	36.8	30.67
16.93	16.67	26	23.87	34.67	39.73	36	51.33	62.8	74.53	55.2	62	74.4	67.87	30.53	38.53	16.53
16.8	16.8	24.53	22.13	28.27	40.53	34	53.47	54	32.13	72.27	58.67	46	54.67	28.93	33.47	16.13
28	30.27	25.73	23.2	38.53	44.93	43.87	44.27	65.87	37.73	36.8	64.27	55.73	54.4	40.27	22	17.07
21.87	20.27	21.87	49.33	53.6	54.8	40.27	45.07	51.73	22.27	49.73	41.6	64.27	41.2	31.6	20.27	14.8
29.07	34.4	22.4	43.33	46.4	50.13	44	41.07	40.27	26.8	52.27	39.6	35.2	30.53	27.33	18.4	24.8
20.27	30.93	40.13	56.67	53.47	59.73	49.47	42.53	30.93	27.33	27.73	40.4	32.27	31.73	17.07	19.47	19.07
18.8	30.4	29.07	41.2	46.8	47.73	35.33	43.2	31.73	25.73	21.33	23.87	27.47	22.13	22.4	16	16.27
18.67	27.2	26.4	35.33	38.27	38.4	35.73	36.27	28.4	24.67	21.6	19.47	34	19.73	17.6	15.73	0
18	26	20	34.4	29.6	33.87	32.27	28.67	26.4	16.27	18	18	20	19.2	14.13	0	0
16.27	25.6	16.27	15.73	25.87	21.87	24.93	24.27	16.27	52.8	16.27	16.13	25.07	15.73	12.67	0	0

ตารางที่ ข 2.5 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 120° ครั้งที่ 2

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมนต์ต่อตารางเมตร)

0	0	22.8	22.27	56.93	27.07	28	44.27	31.33	28.13	70.27	49.87	43.6	49.73	39.6	34.53	39.6
0	0	19.33	24.27	52.53	18.4	43.6	44.53	24.67	96.27	65.33	79.73	57.47	48.13	40.8	35.87	49.73
0	0	20.53	19.2	76.27	31.07	30.13	39.6	23.6	84.8	98.93	62.4	69.6	60.27	51.6	45.87	37.6
0	14.93	15.33	15.47	75.2	28	38	58	71.73	79.47	74	65.47	57.07	46.8	38	48.27	41.6
17.47	16.27	18.4	28.8	103.2	33.47	45.33	55.73	65.87	76.53	51.33	38.27	56.4	36.67	32.27	33.2	40.27
14.27	22.13	19.07	30.53	65.47	35.07	41.87	55.33	18.93	51.07	29.73	27.73	47.2	32.93	46.4	39.87	34.27
22.8	42.27	25.2	36.13	50.53	53.73	50.8	40.4	30.93	52.8	41.47	47.73	47.33	34.8	42.13	31.33	33.07
25.6	23.07	33.07	50.93	29.87	139.6	46.27	41.33	43.33	57.87	20.67	34	39.73	22.8	37.87	31.73	26.13
19.73	34.93	31.33	59.73	24.67	66.13	50	54.93	45.87	44.27	29.6	48.4	30.67	27.87	22.4	21.47	30
27.47	39.33	47.47	58	37.73	75.07	47.87	47.73	42.67	37.07	34.4	40.27	29.07	26.13	21.73	24.53	29.47
26.67	28.13	39.6	40.67	23.2	89.07	38.27	48.93	41.6	34.67	28.27	23.87	22.13	22.53	17.2	23.87	18.67
24.4	17.73	42	34.8	17.73	47.33	37.47	27.6	22	24.53	23.07	20.13	19.87	22.4	14.27	19.47	17.47
22.8	17.6	34.4	18	16.27	38.67	32.13	19.2	20.67	22.8	19.47	19.33	19.07	20	12.67	19.07	16.27
16.4	14.53	24	17.2	16.53	32.67	31.07	18.4	17.6	19.47	17.07	15.73	12.67	15.33	3.47	16.8	13.07

ตารางที่ ข 2.6 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 120° ครั้งที่ 3

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

0	0	19.73	12.27	21.73	12.67	27.73	50.53	66.93	78.13	37.2	84.4	34.13	44.8	42.13	30.27	30.53
0	0	17.47	19.47	19.73	19.47	41.47	41.47	65.73	88.53	50.4	69.47	34.8	54.93	47.07	41.2	40.27
0	36.4	12.67	22	19.07	24.53	22.53	37.73	70.53	93.6	78	62.93	51.6	55.87	47.47	44.53	44.8
0	35.73	19.07	32.13	17.07	23.6	34.13	44.13	91.33	20.27	81.07	57.6	62.13	56	46.93	45.33	32.27
0	38.13	22.13	29.33	24.53	32.67	25.6	50.13	95.87	66.27	69.33	38.93	65.6	43.2	36.67	42.4	31.47
15.47	30.13	23.33	32	27.2	31.6	41.2	38.27	72.13	56.8	66.27	26.4	46.27	52.4	40.67	34.8	27.6
17.6	22	34	49.33	35.2	37.73	45.33	26.67	48.27	50	57.73	22.93	54.13	55.73	42.93	37.2	28.67
15.33	19.6	19.73	56.27	42.4	50.67	44.67	50.8	29.2	50.4	78.67	37.07	54.4	27.33	35.33	18.8	18.13
10.13	23.33	38.13	48.93	56.27	50.13	60.93	22.53	29.87	41.07	52.53	34.6	39.2	28.27	30	26.53	22.13
8.67	26.93	41.47	43.33	49.07	47.87	46.53	40	48.53	39.47	44	37.2	32	21.6	19.33	22.4	21.6
13.2	24.4	40.27	37.2	43.47	46.93	46.67	28.53	38.13	30.93	29.07	30.93	31.6	21.47	17.47	19.2	17.73
9.07	22	36.13	35.33	28.8	41.2	38.8	42.27	34	29.6	24.27	26.93	28.4	19.73	16.8	17.73	17.47
4.8	16.4	33.2	28	38.53	24.27	35.2	40.27	31.87	27.33	23.07	21.2	27.73	19.2	15.07	12.67	0
2.93	15.47	27.6	23.73	24	22.8	24.8	38.53	29.47	26.53	19.07	15.33	17.2	14.13	12.67	0	0

ตารางที่ ข 2.7 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดบีดที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 150° ครั้งที่ 1

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

0	0	0	17.47	17.87	15.6	19.07	72.13	33.07	37.47	19.73	45.6	24.67	28.8	30.8	41.73	25.07
0	0	0	15.33	14.4	17.07	59.6	90.67	52.67	39.47	30	45.47	32.27	29.07	26.53	35.07	26
0	0	13.33	12.67	13.73	29.33	82.67	105.2	66.13	38.93	40.27	48.8	20.67	35.2	25.2	37.07	30.67
0	13.33	16.13	19.47	23.73	39.07	70.67	66.93	122.93	54	41.07	35.07	22.27	30.27	42.53	32.13	30.53
0	15.33	20.13	22	23.6	39.2	35.2	64.53	155.2	47.47	51.33	42.8	19.47	47.87	46.8	37.33	30.53
15.47	15.87	20.4	22.13	24.27	29.87	36.27	61.2	132.13	35.87	29.47	33.47	35.07	36.53	45.07	39.07	28.53
15.2	17.47	23.07	18.13	17.47	26.8	40.27	56.67	92.93	35.33	33.73	31.47	41.2	28.27	27.73	47.07	28.4
14.8	18.8	23.2	16.67	20.53	29.6	35.33	46	37.47	48	43.33	22.27	34.67	68.8	51.07	36.67	36.93
14.53	17.6	21.6	22.93	27.6	25.07	39.6	26.27	38.13	35.87	42	20	43.07	43.73	50.13	34.8	37.47
14.4	20	22.53	28	29.07	29.87	32.67	20.93	39.47	46.53	39.73	41.87	49.2	45.33	50.93	38	37.07
14.4	22.93	20	22.13	25.87	32.13	35.73	23.33	35.73	46	51.47	48	51.87	22.53	50.67	42.53	28.8
19.6	25.33	18.67	16.27	16.4	20.67	21.47	26.4	41.87	43.87	41.6	47.73	47.87	49.73	43.73	36.93	34.8
19.33	17.47	18.53	17.2	21.33	19.33	32.27	25.07	20.27	27.2	39.6	44	37.87	45.6	40	35.73	38.67
18.93	16	15.47	19.2	23.2	27.33	27.33	15.87	17.07	4.67	36.8	42.8	35.47	32.93	32.67	34.13	24

ตารางที่ ข 2.8 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดบู่ที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 150° ครั้งที่ 2
ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมนต์ต่อตารางเมตร)

0	18.67	17.2	18.13	17.6	24.4	17.33	71.73	106.8	36.8	36.8	54.67	28.8	18.13	39.2	28.93	27.47
0	20.8	18.13	21.07	18.13	16.8	63.33	161.73	177.33	30.53	31.33	40.93	30.4	23.87	44	26.93	32.93
12.67	19.47	18.67	19.2	18.8	31.47	89.07	120.27	210.13	35.47	33.6	38.27	34.13	27.87	33.73	28.67	30.67
13.87	16.27	19.2	17.87	20.27	41.73	78.53	66.53	59.33	50.27	49.2	37.07	25.07	25.07	34.4	31.2	39.2
15.47	23.47	19.47	27.33	21.33	38.13	46.13	50.53	58.93	35.47	19.73	27.07	30.67	31.73	30.4	28.27	28.13
17.87	17.87	21.07	17.6	23.87	33.33	31.6	41.6	47.6	58.13	33.33	23.2	54.4	26	24.8	34.53	36.53
18.13	17.33	23.07	21.87	29.47	28.8	25.6	42.13	44.53	46.8	38.8	22.13	48.67	36.67	30.4	34.93	37.2
20.53	23.73	24.4	27.87	25.07	31.07	25.07	36.53	57.2	26.53	34	20.13	42.8	38.93	26	38.4	40.27
19.33	21.47	19.73	26	21.2	24.4	30.8	33.6	58.93	28.27	48.93	27.87	46.67	33.33	24.53	44.4	50
17.73	20.67	19.47	24.67	21.07	27.2	32	34.93	43.2	49.33	51.2	48.67	51.07	51.6	28.53	46.53	37.6
16.93	22.53	14.13	20.53	20	28.67	23.33	31.2	41.6	50.53	43.6	41.6	47.07	42.93	59.6	32.27	33.2
14.4	18.27	13.87	20.53	18.93	17.73	22.93	22.53	40.4	48.53	36.53	46.93	44.4	43.07	47.6	34	23.07
0	13.33	13.87	19.87	19.33	19.73	21.6	34.13	35.33	44.67	40.53	50.27	42.93	34.8	37.73	23.73	19.33
0	19.33	10.93	19.73	16.13	18.8	19.33	36.53	31.73	38.67	24.13	43.07	29.6	32.93	28.13	22.67	16.27

ตารางที่ ข 2.9 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 150° ครั้งที่ 3

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมนต์ต่อตารางเมตร)

0	0	16.4	17.73	23.33	26	24.4	55.33	77.07	38.53	32.27	27.47	24.13	27.07	71.47	17.6	28
0	0	20.4	20.53	27.07	26.53	67.33	160.13	166.93	54.93	58	34	28.13	28.93	17.73	14.27	29.87
0	0	18.93	23.87	31.33	31.33	76	113.87	113.2	70.27	60.13	43.07	39.2	25.87	30.67	20	31.2
0	0	16.27	18.93	31.2	33.87	64.27	62.4	94.67	57.33	71.47	52.13	39.33	32.53	29.87	26.93	22.8
0	0	26.93	32.13	24.4	37.73	39.2	52.27	63.6	32	42	27.87	38.67	36.53	20.67	26	27.47
0	18.53	14.67	27.87	22.93	28.67	38.93	42.27	41.6	40	47.2	41.87	31.33	35.07	29.07	25.07	35.73
0	20	14.13	23.47	19.87	30.67	39.07	35.2	34.4	46	43.33	43.33	48.67	44.27	40.13	19.6	38
19.87	23.07	10.13	21.73	19.6	43.87	35.73	34.13	41.2	42.13	48.8	38.8	41.33	45.6	40.27	35.47	40.8
19.33	14.8	14.67	18.8	25.2	34.27	40	24.27	49.33	36.27	57.2	36.13	64.67	42.27	34.93	30.93	42.13
15.6	18.27	14.93	18.4	20.8	19.07	31.07	32.93	54	36	50.53	33.2	48.4	29.2	42.53	43.47	43.2
22.67	24.8	15.87	18	22.27	19.47	29.47	37.87	38.27	23.87	55.87	33.2	48.93	44	56.93	32.53	38.13
17.33	15.07	20.8	16.8	19.6	23.6	35.07	25.33	28.27	34.93	36.53	28.67	43.07	47.07	33.87	41.07	34.4
20	22	23.6	18.93	18.8	33.47	27.07	27.87	26.8	20.4	31.33	25.2	37.33	49.2	43.47	28.27	25.07
20.8	23.73	25.6	22.53	18.67	19.2	23.73	23.33	25.33	23.47	34	24.53	38.67	47.33	34.53	16.67	19.2

ตารางที่ ข 2.10 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 180° ครั้งที่ 1

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมนต์ตารางเมตร)

0	0	22.27	21.07	19.73	16.8	35.87	52.67	60	30.67	28.67	39.2	34.4	40	34.27	54.53	40.8
0	0	24.4	21.33	18.93	18.8	42.93	119.2	177.73	55.73	40.13	40.53	28.67	35.87	31.33	48.13	44.53
0	0	22.4	14.8	14.13	22.4	57.47	172.27	182	44.4	47.73	32.13	31.2	38.13	37.73	47.87	43.2
0	0	17.73	12.93	20.67	21.2	69.6	203.2	78.4	35.2	36	33.33	38.27	35.87	41.33	46.4	51.47
0	0	22	20.8	21.2	31.07	36.8	64.4	52.53	36.4	32.13	32.67	48.27	46.27	56	70.93	64
0	0	14.27	24.53	23.47	24.93	25.73	27.33	31.07	33.6	44.67	41.07	33.07	52.13	44.8	43.87	70.27
0	0	18.27	19.73	14.4	21.2	34.27	26.13	22.13	30.53	47.2	45.07	43.47	50.13	47.33	69.73	67.47
0	0	17.6	14.67	26.8	19.33	26.93	22	23.33	29.6	30.53	35.6	46.8	52.67	50.13	67.07	56.13
0	0	15.47	14	25.6	26	23.2	21.87	23.6	40.13	40.8	31.73	38.4	50.27	46.53	46.53	47.6
0	0	0	0	14.93	24.27	27.33	20.8	30.93	33.07	35.47	35.2	40.27	42.67	43.33	36.4	34.4
0	0	0	0	19.73	17.33	26.93	11.2	22.13	27.73	22.27	34.13	30.4	39.33	30	21.87	23.87
0	0	0	0	22.67	19.6	26.53	21.73	20.13	20.53	24.67	26.4	29.6	30.67	18.13	25.33	22.27
0	0	0	0	19.6	19.33	19.2	14.13	19.73	19.07	21.73	17.87	27.47	23.07	15.2	26.13	20.8
0	0	0	0	13.07	16.93	16.27	20.8	17.47	20.27	18.13	16.8	19.33	20.13	9.87	18.8	16.27

ตารางที่ ข 2.11 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุ๋ยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 180° ครั้งที่ 2

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

0	0	0	0	0	17.6	24.27	161.6	86.93	36.67	36.67	51.47	49.47	43.6	34.4	39.2	36.8
0	0	0	0	0	26.93	33.07	78.93	255.87	74.8	49.07	49.87	52.8	37.47	31.87	30.13	42.93
0	0	0	0	0	23.2	46	53.73	240.93	62.53	53.07	48.27	43.2	45.33	36.67	56.53	89.07
0	0	0	0	0	22.67	41.2	119.33	155.33	56.27	48.93	53.07	53.87	41.2	37.47	54.4	52.53
0	0	0	0	0	22.8	36.53	60.4	72.93	53.07	38.13	36.67	47.33	43.33	40.27	52.8	68
0	0	0	0	0	17.47	35.73	29.6	30.8	43.07	42.53	40.27	44.8	34.13	47.2	58.67	103.2
0	0	0	0	0	20.27	22.8	29.2	23.47	40.67	42	33.87	55.6	40.4	45.73	62.53	55.6
0	0	0	0	0	19.33	16.4	24.13	22.13	30.27	32.4	42.8	43.73	34.53	53.6	53.73	24.27
0	0	0	0	0	14.27	23.87	21.73	30.93	27.6	39.73	36.8	42.4	39.2	45.73	44.27	19.6
0	0	0	0	0	14.93	24	16	25.07	29.87	44.13	26.4	30.93	37.47	39.73	43.07	11.87
0	0	0	0	0	15.33	18.53	18	19.47	20.4	24.13	23.6	26	21.87	34.4	29.73	8.67
0	0	0	0	0	12.67	18.4	14	16.27	24.8	25.6	18	29.07	20.53	22.8	27.33	0
0	0	0	0	0	14.13	14.93	10.93	17.07	15.87	26	21.47	22.4	8.93	21.07	26.93	0
0	0	0	0	0	14.27	14.67	6.67	13.07	12	20.8	22.93	21.07	6.93	13.2	19.33	0

ตารางที่ ข 2.12 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเม็ดปุยที่ออกจากงานเหวี่ยงที่มุม 180° ครั้งที่ 3

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 6.5 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

8.27	0	0	0	6	12.67	87.6	20.13	146.27	17.07	22.4	25.87	8.8	9.87	17.47	1.47	9.87
2.93	0	0	2.53	2.27	12.4	133.87	8.93	287.07	35.73	26.13	18.4	19.6	8.67	24.67	2.93	13.6
0	0	2	5.87	4.13	15.6	131.6	58	176.8	33.87	40.93	21.6	22.8	20.93	20.27	10.13	12.8
14.93	8.27	2.4	4.13	11.33	28.53	38.67	80.67	82.93	28.93	36.93	29.47	30.93	21.73	19.47	13.07	14.8
2.8	0.13	8.93	8.53	10.27	32.8	44.93	46.4	54.4	30.93	42.93	43.33	28.27	22.8	19.07	13.73	11.6
4.27	3.2	7.2	6.8	11.33	20.4	44.4	38.93	41.73	31.47	43.73	36.8	24.27	18.8	23.07	22.8	5.73
2.8	2.27	13.07	14.13	19.6	23.73	43.47	35.33	30.93	44	38.27	54.8	32.93	23.47	28.93	17.73	7.6
3.33	4	12.67	10.93	6.8	11.47	46.8	23.33	41.2	48.67	65.73	60.67	41.87	25.6	28.27	19.2	6
3.73	3.07	3.87	4	8	28.13	32.27	22.67	30.93	42	52.67	53.33	34.53	36.93	23.33	16.8	2.93
2.4	2.93	1.2	6	13.73	23.33	40.13	21.47	30.8	56.27	38.8	43.47	33.6	21.47	19.6	21.33	2
0	2.13	0.53	2	10.93	24.13	28	11.87	28.93	17.87	32.8	45.07	37.87	15.87	16.4	16.13	0
0	0	1.07	2.93	2.53	13.87	14.8	2.93	3.47	12.93	33.2	23.33	32.8	23.07	16.27	16.4	0
0	0	0	0	2.13	6.27	8.8	6.13	3.73	10.67	26.93	20.27	19.2	16.8	13.07	0	0
0	0	0	0	1.2	2.27	5.2	4.93	2.53	6.93	22.8	16.27	16.4	12.8	11.33	0	0

ตารางที่ ข 2.13 ผลการทดลองหาตำแหน่งช่องเปิดของงานเหวี่ยงที่มุม 150° ครั้งที่ 1
ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 12.75 เซนติเมตร (กรัมนต่อตารางเมตร)

0	0	0	7.6	2.53	11.33	17.47	143.73	115.6	42.93	31.6	29.07	21.07	19.2	19.07	17.87	16.93
0	0	0	7.73	10.13	7.2	56.93	270.13	155.33	61.2	26.67	31.2	23.33	19.47	16.67	18.53	15.73
0	0	0	4.8	11.87	27.2	72.93	206.53	88.53	48.53	38.67	34.53	22	25.47	31.47	18.27	18.8
0	0	20.27	11.07	20.53	41.07	98.93	1174.67	72.8	59.6	40.8	31.6	19.87	20.93	28.27	17.33	16.27
0	22.93	25.33	9.6	10.67	31.73	52.4	73.07	65.2	54.53	40.93	48.27	27.07	23.07	19.33	17.73	23.2
0	19.33	16.4	19.87	6.67	41.87	37.87	46.67	66.4	53.87	54.13	38.53	28.27	27.47	19.47	22.67	16.67
0	13.73	20	14.53	16.53	23.6	33.33	48	65.33	60	53.07	55.2	32.4	21.33	34.67	51.2	18.8
0	2.67	23.47	7.73	14.27	18.8	28.13	54	63.6	57.73	61.2	65.07	31.73	32.27	30.93	24.8	18.4
0	9.47	15.6	13.73	17.2	30.88	27.33	42.4	62.4	58.13	59.6	67.6	33.47	37.2	25.87	23.73	19.2
0	0	24.67	11.6	17.47	19.47	49.2	31.47	52.67	62.4	53.33	60.8	40.27	31.47	22.8	21.33	21.33
0	0	20.27	18.93	10.13	21.6	18.8	31.6	59.07	46	40.8	42.53	43.2	25.6	22.53	14.93	19.73
0	0	0	14.67	7.07	9.87	11.2	15.6	37.87	36.93	46	29.2	40.4	24	19.33	18.67	16.13
0	0	0	2.8	6.53	3.2	7.47	7.33	30.93	25.07	34.67	31.33	31.33	16.93	18.27	16	0
0	0	0	2.4	2.8	2.93	5.47	7.07	20.13	23.73	27.87	24.67	18.93	14.27	12.8	15.6	0

ตารางที่ ข 2.14 ผลการทดลองหาตำแหน่งช่องเปิดของงานเหวี่ยงที่มุม 150° ครั้งที่ 2

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 12.75 เซนติเมตร (กรัมนต่อตารางเมตร)

0	0	0	0	8.67	0	31.33	154.4	131.07	35.87	23.07	17.47	16.8	16.67	16.27	15.87	8.8
0	0	0	10.13	11.6	14.53	68.13	283.2	150	54.8	29.2	20.53	24.8	18.93	14	15.47	9.47
0	0	14.27	9.6	14.53	23.47	70.4	207.2	77.2	55.07	38.8	24.93	24	16.67	15.73	8.53	10.93
0	0	12.67	10	19.47	31.07	99.2	86.93	79.33	53.33	28.4	34.27	23.73	21.07	24.4	22.67	7.47
0	0	15.47	27.6	8.93	39.6	50.93	75.6	60.67	42.8	36	29.6	19.6	19.6	24.53	19.87	2.93
0	0	14.8	29.33	24.93	44	43.73	51.73	60.27	59.2	53.87	40	35.07	23.2	27.73	21.2	8.27
0	0	16.8	27.33	25.6	21.47	42	64.4	54	54.53	49.2	54.93	33.6	20.93	28.93	24.4	2
0	0	18.53	21.47	18.67	26	42.4	53.87	50.67	64.93	63.33	61.73	34.4	29.07	34.4	23.73	7.33
0	0	15.73	19.07	27.6	28.93	21.73	42.4	57.73	52	54.4	64.67	38.53	42	34.13	22.8	10.8
0	0	12.67	20.4	21.33	33.73	30.93	33.2	45.73	68.93	39.87	48.53	37.33	22.93	27.07	22	5.33
0	0	10.8	22.13	16.13	31.47	24.93	30.53	34.53	44.53	35.6	26.13	40.93	20	24.27	20	6.8
0	0	6.93	15.6	13.07	22.53	19.73	18.13	28.27	28.8	32.67	27.6	30.53	15.47	18.53	17.6	3.33
0	0	0	0	0	23.87	15.6	16.13	24	28.53	18.4	16.67	26.13	15.87	16.4	16.13	5.07
0	0	0	0	0	20.67	0	0	0	20.53	14.8	15.33	17.6	14	15.47	13.07	0

ตารางที่ ข 2.15 ผลการทดลองหาตำแหน่งช่องเปิดของงานเหียงที่มุม 150° ครั้งที่ 3
ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 12.75 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

8.27	0	0	0	6	12.67	87.6	20.13	146.27	17.07	22.4	25.87	8.8	9.87	17.47	1.47	9.87
2.93	0	0	2.53	2.27	12.4	133.87	8.93	287.07	35.73	26.13	18.4	19.6	8.67	24.67	2.93	13.6
0	0	2	5.87	4.13	15.6	131.6	58	176.8	33.87	40.93	21.6	22.8	20.93	20.27	10.13	12.8
14.93	8.27	2.4	4.13	11.33	28.53	38.67	80.67	82.93	28.93	36.93	29.47	30.93	21.73	19.47	13.07	14.8
2.8	0.13	8.93	8.53	10.27	32.8	44.93	46.4	54.4	30.93	42.93	43.33	28.27	22.8	19.07	13.73	11.6
4.27	3.2	7.2	6.8	11.33	20.4	44.4	38.93	41.73	31.47	43.73	36.8	24.27	18.8	23.07	22.8	5.73
2.8	2.27	13.07	14.13	19.6	23.73	43.47	35.33	30.93	44	38.27	54.8	32.93	23.47	28.93	17.73	7.6
3.33	4	12.67	10.93	6.8	11.47	46.8	23.33	41.2	48.67	65.73	60.67	41.87	25.6	28.27	19.2	6
3.73	3.07	3.87	4	8	28.13	32.27	22.67	30.93	42	52.67	53.33	34.53	36.93	23.33	16.8	2.93
2.4	2.93	1.2	6	13.73	23.33	40.13	21.47	30.8	56.27	38.8	43.47	33.6	21.47	19.6	21.33	2
0	2.13	0.53	2	10.93	24.13	28	11.87	28.93	17.87	32.8	45.07	37.87	15.87	16.4	16.13	0
0	0	1.07	2.93	2.53	13.87	14.8	2.93	3.47	12.93	33.2	23.33	32.8	23.07	16.27	16.4	0
0	0	0	0	2.13	6.27	8.8	6.13	3.73	10.67	26.93	20.27	19.2	16.8	13.07	0	0
0	0	0	0	1.2	2.27	5.2	4.93	2.53	6.93	22.8	16.27	16.4	12.8	11.33	0	0

ตารางที่ ข 2.16 ผลการทดลองหาตำแหน่งช่องเปิดของงานห้วยขี้มุ่ม 150° ครั้งที่ 1
ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 19 เซนติเมตร (กรัมนต์ตารางเมตร)

0	0	0	14.27	27.07	10.67	27.33	118	357.47	58.13	35.6	22.4	25.07	26.4	18.4	13.07	2.93
0	0	15.87	15.73	31.2	16.67	46.93	238.53	319.87	140.53	36.13	30.93	19.07	15.73	17.2	11.87	3.73
0	0	2.8	19.73	48.93	24.67	51.33	143.47	158.67	101.2	37.47	25.2	25.47	16.53	17.87	16.27	4
0.93	12.4	14.27	11.6	38.4	19.07	112	131.07	114.93	68.4	39.73	27.73	20.67	18.8	14.67	15.33	3.73
1.2	11.33	10.93	13.6	67.07	31.33	82.8	67.33	81.2	44	36.13	32	19.87	14.93	12	8.27	2.93
0.93	11.73	15.73	15.6	51.6	40.53	75.73	65.73	63.87	50.4	22.8	37.07	27.33	15.87	11.87	6.4	1.87
1.47	2.93	20	14.8	45.73	39.73	57.87	47.33	50.8	35.87	35.87	30.13	26.8	13.47	9.07	4.27	1.2
2.4	4.27	6.93	16.13	38.8	31.6	49.07	25.33	38.4	25.07	26.8	30.53	18.93	5.87	1.2	0.67	0
2	5.73	20	10.13	28.93	27.07	35.33	25.33	29.47	18.8	27.87	26.8	8.8	2.4	0	0	0
0	1.2	18.13	6.53	23.07	27.2	38.8	17.33	23.73	19.33	22.67	12.13	2.93	0	0	0	0
0	0.8	16.8	3.87	26.67	21.73	20.13	16.13	14.13	10.13	16.4	4.53	0	0	0	0	0
0	0	14.27	2.4	18.53	15.07	4.93	0	21.73	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	17.2	14.93	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ข 2.17 ผลการทดลองหาตำแหน่งช่องเปิดของงานเหวี่ยงที่มุม 150° ครั้งที่ 2

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 19 เซนติเมตร (กรัมต่อตารางเมตร)

0	0	1.2	0.27	18.67	24.8	31.73	381.07	131.47	56.13	30.93	29.33	12.93	18	20.53	13.07	4.27
0	0	1.47	1.47	20.27	27.87	38.93	353.47	252.93	154.4	36.67	30.4	18.27	16.27	18.8	11.2	5.73
0	0	1.6	2.8	22.27	30.8	64.67	160.27	448.8	118.93	38.53	32.4	22.4	15.6	19.07	4.27	3.2
0	0	0.4	2.53	15.73	36.27	89.87	113.87	147.33	68.4	35.33	31.73	12.53	15.07	18.67	6.93	5.2
0	1.2	2.27	3.07	23.47	42.13	83.2	85.07	126.4	40.4	34.27	30.27	21.47	14.27	14.8	3.2	3.2
0	1.47	2.93	4.27	27.6	37.47	72.13	56.53	69.6	41.33	35.33	27.87	19.07	16.27	11.6	2.53	2.27
0	0.93	4.27	5.47	20.67	46.4	54.8	44.4	56	38	24.53	26.4	20.27	15.33	4.27	1.33	1.2
0	1.73	6.27	7.73	18.8	43.2	50.93	34.4	40.4	28.13	26.13	22.67	18.8	11.6	3.2	0.4	0
0	2.27	2.53	8.27	15.6	49.07	37.73	24.8	33.6	22.27	20.67	21.73	15.33	8.53	0	0	0
0	1.73	0.93	4.27	9.87	32.53	30.13	10.93	14.53	20.13	20.93	18.8	13.07	0	0	0	0
0	0	0	2.8	9.07	30.8	29.2	19.2	15.87	15.73	11.6	0	9.6	0	0	0	0
0	0	0	2.27	5.47	27.6	19.6	16.13	9.73	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1.2	0.93	19.33	17.6	13.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ข 2.18 ผลการทดลองหาตำแหน่งช่องเปิดของงานเหวี่ยงที่มุม 150° ครั้งที่ 3

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 19 เซนติเมตร (กรัมนต์ตารางเมตร)

0	0	0	0	18.27	19.07	30.4	94.13	387.6	65.73	26.13	30.8	27.6	22.13	15.07	13.87	8.27
0	0	0	0.67	19.6	40.27	52.4	275.33	296.53	142.93	41.87	35.07	18.8	80.93	11.07	9.07	4.27
0	0	2.93	2.4	4.67	26.93	68.8	201.73	73.07	96.53	48.93	28.27	22.27	21.73	5.47	4.27	2.53
0	1.73	6.53	2.8	16.27	39.33	105.73	132.67	65.47	50	40.53	29.33	27.33	18.8	2.8	2.53	2
0	1.47	9.87	4.27	30.93	51.2	100.67	101.6	32.13	42.4	35.73	28.4	29.6	27.6	6.53	2.8	0.4
0	1.2	8	6.53	26.4	65.33	72.67	59.47	38.13	36.67	28	40	20.13	20.27	3.2	1.2	2.27
0	0.67	11.87	7.6	34.8	53.2	59.2	61.07	21.87	42.93	23.47	29.6	16.27	26.4	0.93	0	2.53
0	0	4.27	5.87	22.53	59.87	39.87	44.53	24.93	22.67	24.4	26.4	20.4	15.33	0	0	0
0	0	6.93	4.8	22.67	35.47	27.33	34.8	19.07	22.13	13.07	17.6	19.33	0.93	0	0	0
0	0	4.53	3.33	13.07	38.4	30.53	10.53	10.27	16.67	2.93	6.53	4.27	0	0	0	0
0	0	2.4	2.53	4.67	28.67	12.93	5.47	2	0	0	2.4	0	0	0	0	0
0	0	1.2	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ข.2.19 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องหว่านปุ๋ย (รวมปุ๋ยทุกชนิด)
(กรั่มต่อตารางเมตร)

15.73		12.8	16.13	18.27	19.47
16.8		15.73	17.47	20	25.6
18.67		20.27	18	22.13	26.4
21.33		21.47	23.47	23.73	27.33
22		21.73	23.87	25.2	28.13
22.8		23.33	26.4	26.4	22.93
26.13		26.13	27.6	28.8	30.53
27.33		31.73	28.27	32.27	31.6
32.93		32.13	29.87	34.4	32.8
40		43.87	36.8	36.27	32.93
68.67		73.2	66.4	69.6	60.53
232.27		171.73	136.93	124.67	168.53
62.13		53.6	85.47	96.67	89.87
33.07		39.47	40.93	52.13	47.73
22.4		32.13	23.47	33.87	32.27
14.93		23.87	20.4	26.8	24.27
14		18.8	17.07	19.2	21.73
13.6		15.2	15.33	17.47	18.53
0		0	14.8	14.53	16.13
0		0	14.27	13.6	15.73
0		0	0	0	15.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบเพื่อหาชนิดของปลายท่อซึ่งมี 3 แบบ ได้แก่ ปากแบบขยาย ปากแบบปกติ และปากแบบลด โดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 40 แรงม้าเป็นต้นกำลัง และใช้เพลอำนาจกำลังขับพัดลม(Blower) ที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที สามารถสร้างแรงดันอากาศสูง 126 มิลลิเมตรน้ำ การทดลองได้วางกล่องขนาด $0.3 \times 0.25 = 0.075 \text{ sq m}$ ห่างกัน 0.5 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ 2.5 เมตร x 16 เมตร ใช้เวลาเก็บข้อมูลครั้งละ 30 วินาที น้ำหนักที่ได้ กรัมต่อกล่อง

ตารางที่ ข.2.20 ผลการทดลองการกระจายตัวของน้ำแบบปากท่อลด

ผลการทดลองการกระจายน้ำปากแบบลดครั้งที่ 1						Left							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	38.741	43.928	55.466	76.458	78.965	81.73	92.624	84.178	96.995	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	42.097	63.862	83.991	75.256	91.201	136.42	128.019	164.717	82.562	86.926	70.41	0.00	0.00
0.00	78.972	91.499	83.621	92.542	136.457	139.52	110.611	124.448	102.325	96.826	92.627	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.223	87.875	83.254	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
						Right							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	82.429	210.116	200.113	186.966	170.125	142.225	160.925	120.652	100.123	83.725	64.578	67.902	0.00
0.00	206.866	182.193	162.866	149.828	120.256	137.752	120.788	110.865	83.526	42.954	40.658	38.416	0.00
0.00	216.164	180.236	168.09	150.82	102.365	102.414	98.524	76.924	84.152	43.125	43.625	42.951	0.00
0.00	0.00	162.442	150.985	138.124	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ผลการทดลองการกระจายน้ำปากแบบลดครั้งที่ 2						Left						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	38.089	42.113	51.429	62.14	78.632	81.123	92.614	84.816	0.00	0.00	0.00	0.00
49.121	50.767	62.899	74.811	52.826	112.712	173.836	98.668	69.11	0.00	0.00	0.00	0.00
38.429	46.14	43.632	60.12	182.679	30.819	121.836	118.928	67.765	82.432	92.618	110.113	0.00
36.168	37.926	38.784	38.864	40.912	42.633	48.815	84.782	62.611	78.783	86.9147	83.749	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
						Right						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62.14	200.886	192.184	180.116	172.027	160.912	120.68	106.621	80.223	80.643	71.651	71.251	0.00
0.00	203.01	198.142	174.17	187.886	150.085	132.184	136.124	128.441	110.632	102.623	88.125	72.101
0.00	210.886	180.416	162.166	138.296	130.866	125.611	120.116	92.968	88.97	80.114	750.148	62.785
0.00	172.982	162.811	142.872	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผลการทดลองการกระจายน้ำปากแบบลดครั้งที่ 3						Left						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	38.15	43.64	52.11	72.12	78.96	81.02	91.89	84.91	95.49	0.00	0.00	0.00
0.00	41.22	82.01	73.19	80.67	83.64	92.22	120.62	139.88	172.61	98.84	69.74	72.09

0.00	42.15	43.18	60.89	82.09	130.18	121.12	118.45	116.66	102.94	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.15	87.79	86.10	83.81	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Right												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	203.69	200.11	197.82	180.96	171.17	165.88	130.23	102.92	93.21	84.18	61.76	40.87
0.00	210.43	197.18	172.14	165.86	131.01	149.12	131.01	130.71	127.19	110.83	82.81	41.98
0.00	210.43	190.14	178.63	162.11	138.61	149.12	138.61	132.82	125.84	132.99	92.67	82.11
0.00	172.16	160.24	151.86	149.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



ตารางที่ ข.2.21 ผลการทดลองการกระจายตัวของนํ้าแบบปากท่อขยาย

ผลการทดลองการกระจายนํ้าปากแบบขยายครั้งที่ 1												
						Left						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150.719	152.176	74.608	175.529	177.79	182.622	183.169	176.88	180.522	0.00	0.00	0.00	0.00
72.03	81.062	72.032	70.178	66.322	89.301	150.897	220.248	210.014	210.82	86.481	52.743	0.00
92.92	94.429	90.753	90.112	91.521	170.201	160.636	110.372	92.341	51.802	35.812	39.027	0.00
41.176	42.887	41.341	41.583	42.11	52.641	62.64	53.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.051	41.413	42.842	43.869	43.548	44.746	42.235	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Right												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	194.843	120.107	121.374	110.418	97.101	88.615	89.744	76.758	72.681	70.818	63.897
52.64	210.732	150.535	62.482	67.61	69.564	52.326	43.168	38.343	36.391	31.67	34.767	33.642
0.00	0.00	136.135	180.103	316.038	320.979	315.511	173.817	68.898	45.112	37.422	35.647	46.78
0.00	0.00	0.00	0.00	70.887	71.526	73.768	73.802	73.598	81.495	0.00	0.00	0.00
ผลการทดลองการกระจายนํ้าปากแบบขยายครั้งที่ 2												
						Left						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
102.549	143.642	163.889	172.455	178.841	180.425	197.625	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

78.878	80.777	71.99	70.156	67.388	82.789	147.856	239.859	220.868	214.937	88.462	43.723	0.00
94.445	98.421	92.696	91.184	92.232	190.556	180.145	120.136	90.652	52.94	48.64	46.463	0.00
42.722	41.379	41.464	41.669	48.885	55.386	65.021	54.881	51.49	0.00	0.00	0.00	0.00
40.833	41.284	44.215	43.337	43.141	43.024	42.132	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Right												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	192.949	195.846	120.459	121.572	112.172	98.976	97.443	89.343	76.028	38.438	36.524	47.366
52.283	212.521	162.941	87.801	67.451	66.037	58.708	47.348	37.428	36.89	31.581	34.376	33.831
0.00	87.098	136.198	172.499	320.477	346.997	301.475	103.036	67.846	43.471	71.664	69.125	66.352
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.522	70.223	31.14	72.23	82.29	0.00	0.00	0.00

ผลการทดลองการกระจายน้ำปากแบบขยายครั้งที่ 3						Left						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
149.326	150.16	174.0523	178.236	180.162	180.1	197.24	198.456	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
74.256	80.189	73.012	67.895	87.419	87.419	147.686	239.521	220.691	220.11	87.139	46.958	0.00
94.125	95.061	92.185	92.105	190.063	180.19	180.19	120.11	90.197	52.016	45.117	43.758	0.00
41.025	42.016	41.002	41.018	55.419	56.287	56.287	54.416	53.186	51.296	0.00	0.00	0.00
40.235	41.198	42.113	43.065	44.096	43.701	43.701	43.665	42.12	0.00	0.00	0.00	0.00

Right												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	194.98	196.254	122.562	121.01	111.025	98.645	88.147	80.125	70.14	70.006	68.79	167.104
51.389	210.137	163.254	88.236	69.2845	60.254	59.995	47.579	117.265	36.32	31.776	34.958	32.254
0.00	87.699	130.212	177.265	304.125	340.165	301.254	203.14	32.854	66.609	43.265	38.166	36.236
0.00	0.00	0.00	69.125	70.254	70.254	72.098	82.289	89.164	81.019	50.365	0.00	0.00

ตารางที่ ข.2.22 ผลการทดลองการกระจายตัวของนํ้าแบบปากท่อปกติ

ผลการทดลองการกระจายนํ้าปากแบบปกติครั้งที่ 1						Left							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112.587	130.056	140.987	172.561	180.965	168.779	152.731	142.094	90.125	87.365	83.954	64.946	0.00	
60.96	72.101	58.328	88.527	130.169	205.659	92.154	82.207	76.325	42.265	37.003	37.628	0.00	
92.199	94.288	91.554	80.791	91.326	172.492	162.025	124.958	52.146	38.652	38.256	37.861	0.00	
45.994	40.874	41.114	45.636	57.642	52.067	40.002	38.728	38.698	38.005	38.729	38.779	0.00	
0.00	0.00	0.00	42.928	43.174	41.428	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Right												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	172.365	169.245	130.254	102.456	82.012	62.154	52.014	48.958	40.658	38.152	36.154	36.178
62.184	212.213	170.695	82.156	87.254	42.569	40.356	38.495	38.265	37.659	33.041	30.154	28.254
0.00	80.265	120.452	151.489	203.549	102.486	98.012	72.145	63.158	52.147	48.958	37.158	37.498
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	65.148	69.148	72.458	72.145	42.158	0.00	0.00	0.00
ผลการทดลองการกระจายน้ำปากแบบปกติครั้งที่ 2						Left						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
126.023	160.967	184.014	172.626	175.312	172.196	190.011	197.872	90.092	87.142	0.00	0.00	0.00
60.312	82.921	72.476	71.579	68.203	85.153	130.182	201.816	82.202	72.198	86.721	42.612	0.00
92.481	94.927	90.165	80.668	91.165	180.145	168.114	18.331	52.691	38.782	38.955	37.824	0.00
43.165	45.296	40.14	41.165	40.289	45.16	57.72	52.147	40.168	0.00	0.00	0.00	0.00
41.182	43.096	41.219	42.912	40.219	43.985	41.724	42.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Right												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	182.192	170.081	121.926	119.102	97.824	80.671	78.202	72.814	60.278	58.827	42.192	40.092

53.068	202.694	160.961	90.192	88.692	50.728	47.826	40.192	39.829	38.11	33.32	82.117	30.214
0.00	82.619	124.612	162.114	212.689	220.612	201.231	101.628	90.628	62.117	42.128	62.134	70.19
0.00	0.00	0.00	0.00	65.626	69.812	72.001	74.624	82.007	82.663	60.712	42.142	0.00
ผลการทดลองการกระจายน้ำปากแบบปกติครั้งที่ 3												
						Left						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	27.68	28.632	29.006	29.11	29.175	28.24	28.11	0.00	0.00	0.00	0.00
142.031	157.967	160.154	170.06	181.003	180.674	171.065	172.026	182.67	194.654	198.124	0.00	0.00
107.08	120.14	196.145	189.214	265.064	279.18	309.164	310.168	306.17	410.524	240.008	89.533	0.00
80.174	80.164	82.665	80.117	81.068	86.167	83.32	84.42	83.16	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
						Right						
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	120.856	131.16	80.654	318.14	151.08	36.15	170.625	160.715	33.65	31.754	31.458
233.091	254.791	196.242	140.75	75.6	350.24	87.973	249.033	320.256	198.23	35.033	30.152	30.265
0.00	0.00	90.15	89.26	91.16	92.15	90.6	38.24	90.152	172.526	38.214	30.265	29.458
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.66	27.657	27.817	27.821	27.965	27.817	29.854	28.265

ตารางที่ ข.2.23 ผลการทดลองการปรับมุมท่อเอียง 15 องศา (เป็นการทดลองเปลี่ยนการปรับองศาของท่อทางออกโดยที่รถเคลื่อนที่บนลานปูนด้วยความเร็ว 5กิโลเมตรต่อชั่วโมง ครอบคลุมพื้นที่ กว้าง 22เมตรยาว70เมตร)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.53	2.83	2.65	0	2.47	0	2.34	0	2.53	0	0	0	2.34	2.53	0
3.01	2.86	2.96	2.71	2.95	2.37	2.81	2.49	2.57	2.47	2.37	2.49	2.81	2.57	2.47
3.02	3.05	3.07	2.95	3.12	2.72	2.75	2.65	3.14	2.64	2.72	2.65	2.75	3.14	2.64
5.8	3.52	4.81	5.74	5.73	2.88	2.98	2.74	3.08	2.33	2.88	2.74	2.98	3.08	2.33
4.15	3.99	4.23	4.09	4.61	3.77	3.73	3.71	3.64	3.81	3.77	3.71	3.73	3.64	3.81
4.01	3.98	4.21	3.71	3.95	4.98	3.69	4.53	4.75	4.92	4.98	4.53	3.69	4.75	4.92
3.82	4.29	3.79	3.72	3.71	4.79	3.65	4.25	3.96	4.57	4.79	4.25	3.65	3.96	4.57
4.99	4.42	4.52	4.67	4.62	7.21	3.09	4.65	6.85	6.15	7.21	4.65	3.09	6.85	6.15
0	4.76	3.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	15.06	0	0	10.47	5.23	15.06	0	0	10.47	5.23
5.64	0	4.98	5.49	5.24	3.25	7.39	4.98	5.41	4.56	3.25	4.98	7.39	5.41	4.56
3.97	5.36	4.58	4.25	3.43	4.3	3.43	4.21	4.27	4.91	4.3	4.21	3.43	4.27	4.91
3.4	6.18	5.62	3.47	3.87	3.74	3.57	3.69	3.26	3.74	3.74	3.69	3.57	3.26	3.74
2.91	5.38	3.19	4.61	3.61	2.51	2.84	2.74	2.64	3.07	2.51	2.74	2.84	2.64	3.07
0	4.68	2.87	3.18	2.72	2.4	3.24	2.98	2.79	3.66	2.4	2.98	3.24	2.79	3.66
0	3.89	3.64	2.73	0	0	2.73	2.54	2.43	2.61	0	2.54	2.73	2.43	2.61

0	3.15	3.67	2.54	0	0	2.37	271	2.71	0	0	2.71	2.37	2.71	0
0	2.43	0	0	0	0	2.54	0	0	0	0	0	2.54	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ข.2.24 ผลการทดลองการปรับมุมท่อเอียง 20 องศา

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2.46	0	2.31	0	0	2.46	0	2.31	0
2.79	2.92	2.84	2.87	0	3.12	2.41	2.98	3.64	3.51	3.12	2.41	2.98	3.64	3.51
3.67	3.2	3.51	3.48	3.34	3.41	2.17	3.24	3.28	3.72	3.41	2.17	3.24	3.28	3.72
3.91	5.06	4.89	4.96	4.78	3.56	2.36	2.99	3.13	3.26	3.56	2.36	2.99	3.13	3.26
3.59	4.63	4.23	4.41	3.42	4.16	3.03	4.62	4.67	3.89	4.16	3.03	4.62	4.67	3.89
3.97	3.64	3.86	3.76	3.95	4.39	2.34	3.65	3.39	4.25	4.39	2.34	3.65	3.39	4.25
3.42	2.88	3.14	3.09	3.37	4.83	2.43	3.72	4.25	3.62	4.83	2.43	3.72	4.25	3.62
3.15	3.57	3.29	3.43	3.28	3.51	2.34	3.21	3.62	0	3.51	2.34	3.21	3.62	0
0	2.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.57	12.08	10.65	5.63	4.56	3.01	6.01	4.23	3.51	2.96	3.01	6.01	4.23	3.51	2.96

3.29	5.12	4.78	4.52	3.36	5.03	2.93	3.97	4.75	4.75	5.03	2.93	3.97	4.75	4.75
4.08	4.17	4.23	4.21	4.19	4.38	3.5	3.52	4.62	3.76	4.38	3.5	3.52	4.62	3.76
4.02	4.75	4.25	4.38	5.04	3.35	2.89	2.93	2.97	3.24	3.35	2.89	2.93	2.97	3.24
3.56	4.37	3.98	4.02	3.61	2.69	2.7	2.51	2.61	2.67	2.69	2.7	2.51	2.61	2.67
3.62	3.01	3.47	3.39	3.41	2.26	2.02	2.61	2.54	2.13	2.26	2.02	2.61	2.54	2.13
3.52	2.45	3.45	3.32	3026	2.91	2.5	2.64	2.84	3.2	2.91	2.5	2.64	2.84	3.2
0	0	0	2.72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



ตารางที่ ข.2.25 ผลการทดลองการปรับมุมที่เอียง 25 องศา

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.26	2.84	2.75	2.64	2.33	2.35	2.36	2.54	2.94	2.92	2.19	2.13	2.21	2.36	2.1
2.42	3.93	3.23	3.62	3.35	2.52	2.36	2.87	3.64	3.49	2.53	2.65	2.87	2.45	5.69
2.54	3.04	2.65	2.97	2.58	2.64	2.57	2.89	3.67	3.49	2.46	2.68	2.95	2.67	2.39
2.22	3.07	2.56	2.23	2.45	2.61	2.57	2.95	2.87	3.01	2.65	2.35	2.24	2.22	2.97
2.46	2.53	2.48	2.35	2.17	2.48	2.64	2.53	2.17	2.91	2.48	2.43	2.52	2.5	2.45
2.23	3.49	2.56	2.36	2.87	2.54	2.68	2.54	3.42	3.12	2.54	2.68	2.57	4.6	3.54
2.19	3.57	2.47	2.95	2.7	2.23	2.54	2.61	2.35	2.38	2.64	2.578	3.54	3.47	2.99
2.43	2.51	2.56	2.47	2.95	2.4	2.14	2.5	2.31	2.53	2.44	2.25	2.5	2.46	2.61
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.29	4.65	5.64	5.34	4.36	5.32	6.31	5.24	3.27	5.49	0	5.24	6.25	4.26	5.35
3.31	5.11	3.54	3.65	4.27	3.65	3.54	4.21	5.24	4.95	3.95	3.58	3.57	3.49	4.82
2.26	3.52	2.89	2.75	2.64	2.5	2.39	2.54	3.14	2.19	2.64	2.36	2.258	2.48	3.12
2.17	3.09	2.54	2.67	2.57	2.54	2.65	2.17	2.95	3.12	0.35	2.47	2.36	2.54	2.93
2.5	2.7	2.64	2.51	2.47	2.53	2.64	2.72	2.45	2.35	2.51	2.65	2.35	2.41	2.59
2.17	2.51	2.31	2.54	2.48	2.21	2.03	2.34	2.65	2.54	2.22	2.23	2.52	2.42	2.17
2.13	2.44	2.34	2.14	2.64	2.15	2.62	2.47	2.35	2.64	2.35	2.15	2.61	2.33	2.72

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ข.2.26 ผลการทดลองการปรับมุมท่อเอียง 30 องศา

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.54	2.87	0	0
2.53	2.83	2.65	0	2.47	2.78	2.83	2.74	3.1	2.51	2.65	2.35	2.58	2.39	2.74
3.01	2.86	2.96	2.71	2.95	3.25	3.42	3.62	3.47	3.24	3.12	3.25	3.19	3.12	3.02
3.02	3.05	3.07	2.95	3.12	0.45	3.24	3.59	3.25	3.67	3.23	3.45	3.62	3.48	3.25
5.8	3.52	4.81	5.74	5.73	3.87	3.95	3.89	3.54	3.68	4.32	4.35	3.95	3.57	4.36
4.15	3.99	4.23	4.09	4.61	4.51	3.68	3.68	3.28	3.47	3.64	4.51	4.21	3.57	3.64
4.01	3.98	4.21	3.71	3.95	4.21	4.32	4.65	4.21	4.58	4.13	4.6	4.21	3.97	3.48
3.82	4.29	3.79	3.72	3.71	4.31	3.68	4.28	3.87	4.98	3.96	4.25	4.38	3.79	4.67
4.99	4.42	4.52	4.67	4.62	4.82	4.67	4.29	4.83	4.38	4.67	4.28	4.97	4.69	4.71
0	4.76	3.64	0	0	3.65	0	0	3.47	2.98	3.96	0	0	3.64	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.64	0	4.98	5.49	5.24	5.68	6.25	5.89	6.47	5.34	5.67	5.91	5.37	6.24	6.14
3.97	5.36	4.58	4.25	3.43	5.38	6.54	5.35	5.97	6.24	5.47	5.87	5.14	5.64	6.17

3.4	6.18	5.62	3.47	3.87	3.65	4.25	5.14	4.78	5.49	3.46	3.61	3.58	3.67	4.12
2.91	5.38	3.19	4.61	3.61	4.35	3.65	4.37	4.84	4.69	4.56	4.36	4.58	4.97	4.27
0	4.68	2.87	3.18	2.72	3.54	3.57	2.97	3.64	3.72	2.99	2.37	3.25	3.47	3.66
0	3.89	3.64	2.73	0	2.98	0	2.78	0	0	2.67	2.69	0	0	0
0	3.15	3.67	2.54	0	3.42	0	0	0	0	2.08	2.97	0	0	0
0	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



ตารางที่ ข.2.27 ผลการทดลองการปรับมุมท่อนเอียง 35 องศา

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.43	2.51	0	0	2.49	2.34	2.62	2.8	2.57	2.68	2.35	0	0	3.21	2.58
2.38	3.85	3.42	3.05	2.84	2.64	2.38	2.69	2.74	22.19	2.67	2.95	3.54	3.62	3.45
2.53	2.98	2.65	2.89	2.61	2.51	2.35	2.18	2.78	2.95	2.64	2.35	2.94	2.84	2.57
2.55	2.71	2.49	2.65	3.47	2.54	2.51	2.64	2.74	2.61	2.54	2.65	2.68	2.76	2.48
3.1	6.36	4.63	5.37	4.91	3.25	3.62	3.24	3.57	3.59	3.61	3.25	3.27	3.98	3.59
3.08	3.5	3.21	3.16	3.13	3.15	3.26	3.56	3.48	3.29	3.12	3.61	3.54	3.64	3.95
3.37	4.05	4.25	3.69	3.54	3.65	3.46	3.87	3.95	4.05	3.62	3.95	4.25	4.12	3.37
5.97	4.98	5.36	5.42	5.17	4.84	4.69	4.57	5.59	5.66	5.64	5.26	51.9	5.67	4.93
6.57	5.89	6.21	6.34	5.48	5.97	5.68	5.36	6.48	6.97	6.24	5.87	5.26	5.37	6.12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.95	3.56	3.49	3.87	3.84	3.54	3.95	3.87	3.77	3.64	3.48	3.68	3.75	4.21	3.92
4.13	2.82	3.67	3.41	3.65	2.68	3.45	3.87	4.26	3.58	3.21	3.54	3.68	4.29	3.65
2.38	2.71	2.51	2.61	2.47	2.64	2.39	2.58	2.97	2.45	2.62	2.54	2.19	2.68	2.39
3.55	3.14	3.32	3.96	3.64	3.57	3.24	3.51	3.24	3.68	3.64	3.52	3.23	3.42	3.04
2.98	2.36	2.68	2.74	2.14	2.95	2.37	2.54	2.84	2.15	3.42	3.14	3.62	3.98	3.26
2.84	2.77	2.64	2.64	2.88	2.64	2.54	2.97	2.85	2.68	2.57	2.78	2.69	2.83	2.96
0	0	0	2.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.99	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ข.2.23 ผลการทดลองการปรับมุม 30 องศา ทดลองวิ่งจริงในสวนป่าต้ม(ป้อนรวมทุกชนิด)

2.379	2.543	0	3.236	2.487				31.72	33.91	0	43.15	33.16								
2.516	2.831	2.156	2.538	2.659				33.55	37.75	28.75	33.84	35.45								
6.756	3.607	2.024	2.624	5.742				90.08	48.09	26.99	34.99	76.56								
0	0	2.886	2.379	2.516	6.756	6.51	6.43	3.049	0	0	4.403	4.692	3.831	4.04	3.412	2.534	2.398	0	0	0
0	0	2.794	2.543	2.831	3.607	4.16	6.25	2.802	0	0	3.178	3.048	2.955	2.93	2.527	2.034	2.048	0	0	0
0	0	0	0	2.156	2.024	3.06	2.59	2.594	0	0	0	0	2.12	4.33	3.248	2.223	2.395	2.724	2.148	0
0	3.472	2.793	3.236	2.538	2.624	3.92	2.14	2.481	0	0	2.738	3.157	3.283	2.24	3.035	2.534	2.305	2.115	2.845	0
0	0	2.658	2.487	2.659	5.742	4.43	2.14	2.526	2.481	0	2.116	2.601	3.962	3.53	3.626	2.84	2.588	2.635	2.363	0
0	0	38.48	31.72	33.55	90.08	86.8	85.8	40.65	0	0	58.71	62.56	51.08	53.8	45.49	33.79	31.97	0	0	0
0	0	37.25	33.91	37.75	48.09	55.5	83.3	37.36	0	0	42.37	40.64	39.4	39.1	33.69	27.12	27.31	0	0	0
0	0	0	0	28.75	26.99	40.7	34.6	34.59	0	0	0	0	28.27	57.7	43.31	29.64	31.93	36.32	28.64	0
0	46.29	37.24	43.15	33.84	34.99	52.3	28.6	33.08	0	0	36.51	42.09	43.77	29.9	40.47	33.79	30.73	28.2	37.93	0
0	0	35.44	33.16	35.45	76.56	59.1	28.6	33.68	33.08	0	28.21	34.68	52.83	47.1	48.35	37.87	34.51	35.13	31.51	0

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสัญลักษณ์ กิ่งทอง
วันเดือนปีเกิด	20 มิถุนายน 2505 จังหวัดนนทบุรี
ที่อยู่	1/20 หมู่ 2 แขวง/เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
E-mail	kksanluc@kmitl.ac.th
ประวัติทางการศึกษา	2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรี (คลองหก)
ประวัติการทำงาน	เป็นอาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้