



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน  
แบบต่อพ่วงรถแทรกเตอร์  
Design and Development of Fertilizer Applicator  
Attach to Tractor for Oil Palm Plantation

นายณัฐพงศ์ รัตนเดช  
นายจรัสชัย เย็นพยับ  
นายพงษ์ศักดิ์ กฤตยพรพงศ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำ  
ไปทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน  
แบบต่อพ่วงรถแทรกเตอร์

Design and Development of Fertilizer Applicator  
Attach to Tractor for Oil Palm Plantation

นายณัฐพงศ์ รัตนเดช  
นายจรัสชัย เย็นหยับ  
นายพงษ์ศักดิ์ กฤตยพรพงศ์

1269793X

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาลัยการศึกษาด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันแบบต่อพ่วงรถ  
แทรกเตอร์

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 250,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 18 เดือน ตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ถึง มีนาคม 2556

นายณัฐพงศ์ รัตนเดช (หัวหน้าโครงการ)

นายจรัสชัย เย็นพยับ (ผู้ร่วมโครงการ)

นายพงษ์ศักดิ์ กฤตยพรพงศ์ (ผู้ร่วมโครงการ)

คณะวิทยาเขตชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อ พ่วงรถ  
แทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน โดยใช้กลไกในการหว่าน 2 ชนิดร่วมกันคือ จานเหวี่ยง และ ระบบลม  
เพื่อหว่านปุ๋ย 4 ชนิด โดยออกแบบให้ KCL ใช้ระบบลม ส่วน Urea, DAP, MgO ใช้จานเหวี่ยง เครื่องหว่าน  
ปุ๋ยนี้จะมีส่วนประกอบหลักๆ เพื่อทำการหว่านปุ๋ยอยู่ 2 ส่วน คือ กำหนดปริมาณการจ่ายปุ๋ย และกลไกการ  
หว่านปุ๋ย การกำหนดปริมาณการจ่ายปุ๋ยถูกขับโดยล้อดินเพื่อควบคุมอัตราการจ่ายปุ๋ย กลไกการหว่านปุ๋ย  
จะรับกำลังจากเพลลาพีทีโอ และถูกส่งถ่ายกำลังออกเป็น 2 ส่วนๆ คือ ส่งถ่ายกำลังไป ที่โบลเวอร์ และจาน  
เหวี่ยงซึ่งมีทั้งหมด 3 จานด้วยความเร็วคงที่และการกำหนดปริมาณปุ๋ยโดยใช้ Metering Device ซึ่งจะรับ  
กำลังมาจากการหมุนของล้อสามารถตัดกำลังการหมุนได้ในขณะร่ว่งที่หัว งาน และปริมาณอัตราการจ่าย  
ปุ๋ยแต่ละชนิดสามารถปรับขนาดช่องเปิดเหนือชุดครีบริบหมุนได้ ซึ่งผลการ ทดสอบสมรรถนะการทำงานของ  
เครื่องหว่านปุ๋ยในแปลงปาล์มน้ำมันของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต  
ชุมพร พบว่า ความสามารถทางไร่ คือ 55.15 ไร่/ชั่วโมง ประสิทธิภาพทางไร่ คือ 96.85 % เมื่อทำงานที่  
ความเร็วทางตรง 5.84 km/hr ความสามารถในการ หว่านโดยเฉลี่ยของปุ๋ย Urea, DAP, MgO และ KCL  
เท่ากับ 2.66, 4.93, 2.89 และ 8.81 g/m<sup>2</sup> ตามลำดับ และความสม่ำเสมอในการหว่าน (%CV of deposit  
rate หรือ Coefficient of Variation) ของปุ๋ย แต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลง ซึ่งประกอบไป  
ด้วย Urea, DAP, MgO และ KCL คือ 173.28, 155.52, 205.88 และ 147.9 ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องหว่านปุ๋ย พ่วงท้ายแทรกเตอร์ ปาล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Design and Development of Fertilizer Applicator Attach to Tractor for Oil Palm Plantation

**Researcher:** Mr. Nuttapon Ruttanadech

Mr. Charatchai Yenphayab

Mr. Pongsak Krittayapornpong

**Faculty:** Chumphon campus **Department:** Engineering

## ABSTRACT

This study aims to develop the multi-fertilizer applicator for oil palm plantation to achieve site-specific application method. The prototype was installed with 2 distributing mechanisms include centrifugal disc and pneumatic system to provide 4 primary fertilizers simultaneously. The Potassium chloride (KCl) was distributed by pneumatic mechanism, the other 3 fertilizers include Urea, Di-ammonium phosphate (DAP) and Kieserite (MgO), were distributed by centrifugal disc. The applicator compose of 2 majors components were metering unit and distributing unit, the metering unit was driven by ground wheel to control application rate consists in traveling distance and distributing unit was driven by PTO (Power take-off) shaft of tractor to operate blower for pneumatic system and to spin 3 centrifugal discs with constant rotation speed. The transmission of metering unit through ground wheel could cut-off when travel in the head land and the amount of application rate could adjust by vary size of feed gate above the fluted roller, to verify proper application rate for each specific requirement of each oil palm plantation. The field test was established to evaluate the performance of this prototype in actual oil palm plantation of KMITL Chumphon campus. The field test aimed to verify performance indexes of machinery, includes actual field capacity of 55.15 rai/hr, field efficiency of 96.8%, when operated at forward speed of 5.84 km/hr. The quality of distribution pattern was defined by deposit rate ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) and uniformity index (Coefficient of variation; %CV). The result shown that deposit rate for Urea, DAP, MgO and KCl of 2.66, 4.93, 2.89, and  $8.81 \text{ g}/\text{m}^2$  respectively and %CV for Urea, DAP, MgO and KCl of 173.28, 155.52, 205.88 and 147.9 respectively.

**Keywords :** multi-fertilizer applicator, attach to tractor, oil palm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทีมงานทุกท่าน รวมถึงนักศึกษาช่วยวิจัย ที่ได้ร่วมมือร่วมใจกันจนโครงการวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงลงได้ ขอขอบคุณ คุณฉวีวรรณ คำดี และคุณชวลิต ทองปาน ทีมช่างเทคนิคจากจังหวัดราชบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการจัดสร้างเครื่องหว่านบุย ขอขอบคุณช่างเทคนิค อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล และงานฟาร์มวิทยาเขตชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ และแปลงปาล์มน้ำมัน ที่ใช้สำหรับทดสอบจริง ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครูบา อาจารย์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด โครงการวิจัยครั้งนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ณัฐพงศ์ รัตนเดช  
จรัสชัย เย็นพยับ  
พงษ์ศักดิ์ กฤตยพรพงศ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน	6
2.2 การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน	7
2.3 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน	9
2.4 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันในกรณีที่เกิดปัญหารุนแรง	10
2.5 ปริมาณปุ๋ยที่ให้แก่ต้นปาล์มตามช่วงอายุ	13
2.6 ลักษณะของปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบ	15
2.7 เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้ในการใส่ปุ๋ย	15
2.8 หลักการออกแบบถังบรรจุ (Hopper)	19
2.9 ทฤษฎีงานเหียงหนีศูนย์	21
2.10 หลักการลำเลียงวัสดุด้วยลม (Pneumatic Conveyor)	22
2.11 การพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ย	24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	28
3.1 การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย	28
3.2 การหาสมบัติทางกายภาพของปุ๋ย	28
3.3 การทดสอบหาเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อ พวงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน	30
3.4 การออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย	36
3.5 การทดสอบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-fertilizer ชนิดต่อพวงรถแทรกเตอร์สำหรับ ปาล์มน้ำมัน	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย	46
4.1 การหาสมบัติทางกายภาพของปุ๋ย	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดสอบหาเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อ พวงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน	47
4.3 การทดสอบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-fertilizer ชนิดต่อพวงรถแทรกเตอร์สำหรับ ปาล์มน้ำมัน	55
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>61</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>62</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>64</b>
ภาคผนวก ก.	64
<b>ประวัตินักวิจัย</b>	<b>67</b>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระยะเวลาปลูกแบบสามเหลี่ยมต่างๆ	9
2.2 ธาตุอาหารสะสมในช่วงการเจริญเติบโต 9 ปีแรก	10
2.3 การใส่ปุ๋ยตามช่วงอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน	13
2.4 การใส่ปุ๋ยเดี่ยว (N, P, K) ตามอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน	14
2.5 การใส่ปุ๋ยคีเซอไรท์ (MgO) และโบแรกซ์ (B) ตามอายุพืช	14
2.6 แสดงการใส่ปุ๋ยเคมีเชิงเดี่ยว	14
2.7 คุณสมบัติทางกายภาพของปุ๋ยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย	15
2.8 ค่า Fitting loss coefficient for turbulent flow	24
2.9 ค่า Pressure drop for pneumatic conveying accessories	24
2.10 เปรียบเทียบการพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน	27
3.1 ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันโตเต็มวัย	36
3.2 อัตราการจ่ายปุ๋ยต่อหน้าที่เมื่อทำงานที่ความเร็วทางตรง 5 กม./ชม.	38
3.3 มุมเสียดทานและค่าความเสียดทานของปุ๋ยกับพื้นผิวเหล็ก	38
3.4 ความหนาแน่นของปุ๋ยแต่ละชนิด	39
3.5 สัดส่วนการบรรจุปุ๋ยทั้ง 4 ชนิดของถังบรรจุปุ๋ย	39
3.6 ความต้องการปุ๋ย/5ไร่	39
3.7 ผลการคำนวณออกแบบงานเหวี่ยงโดยแสดงตัวแปร $\theta, V_{hr}, \beta, t, h$	40
4.1 แสดงมุมสิ้นไกลและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของปุ๋ย	46
4.2 แสดงค่าความหนาแน่นและขนาดของเม็ดปุ๋ย	46
4.3 การกำหนดขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมของปุ๋ยแต่ละชนิดเมื่อกำหนดความเร็วใช้งาน Metering Device $90 \pm 10$ rpm	49
4.4 แสดงค่าการไหลในท่อที่ตำแหน่งท่อนหลักก่อนทางแยก	52
4.5 แสดงความเร็วและความดันลมในท่อที่ตำแหน่งต่างๆ ของท่อแยกด้านซ้าย	53
4.6 แสดงความเร็วและความดันลมในท่อที่ตำแหน่งต่างๆ ของท่อแยกด้านขวา	53
4.7 การตรวจสอบอัตราการจ่ายปุ๋ยของระบบลมที่ออกผ่านท่อแยกทั้ง 2 ด้าน	54
4.8 อัตราการจ่ายปุ๋ยที่ได้จริงจากระบบลม	55
4.9 แสดงร้อยละการสิ้นไกลของล้อรถพ่วง (เครื่องหว่านปุ๋ย) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎี	57
4.10 ก. แสดงเวลาที่ใช้ในการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ	57
4.10 ข. แสดงระยะทางและน้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบที่เงื่อนไขต่างๆ ดังตารางที่ 4.10 ก.	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 แสดงมุมเริ่มต้น (ในการปล่อยปุ๋ย) และมุมระหว่างกรวยบนจานเหวี่ยง	33
3.9 ชุดทดสอบกลไกการหว่านระบบลม	35
3.10 การทดสอบความเร็วและความดันในท่อ	35
3.11 การทดสอบอัตราการจ่ายปุ๋ยของระบบลมที่ออกผ่านท่อแยกทั้ง 2 ด้าน	35
3.12 แบบจำลองเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน	37
3.13 แบบจำลองชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering Device)	38
3.14 แบบจำลองชุดถังบรรจุปุ๋ย (Hopper)	39
3.15 แบบจำลองกลไกจานเหวี่ยง	40
3.16 แบบจำลองระบบลำเลียงปุ๋ยด้วยลม	41
3.17 แบบจำลองระบบส่งถ่ายกำลัง	41
3.18 แผนผังการทดสอบในแปลงปาล์มน้ำมัน	44
3.19 แผนผังการวางกล่องเก็บตัวอย่างปุ๋ยในแปลงทดสอบ	45
4.1 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย Urea	47
4.2 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย DAP	48
4.3 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย MgO	48
4.4 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย KCl	49
4.5 ผลการหว่านปุ๋ย Urea	50
4.6 ผลการหว่านปุ๋ย DAP ที่มุมปล่อย 70 ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย 9.19 kg/min	51
4.7 ผลการหว่านปุ๋ย MgO ที่มุมปล่อย 70 ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย 9.19 kg/min	51
4.8 ผลการหว่านปุ๋ยที่ประสิทธิภาพลม 40 Hz	55
4.9 แสดงระบบกำลังจากเพลลาพีทีโอ	56
4.10 แสดงระบบกลไกการจ่ายปุ๋ย	56
4.11 ผลการหว่านปุ๋ย Urea ในแปลงจริงที่มุมปล่อยปุ๋ย 50°	59
4.12 ผลการหว่านปุ๋ย DAP ในแปลงจริงที่มุมปล่อยปุ๋ย 70°	59
4.13 ผลการหว่านปุ๋ย MgO ในแปลงจริงที่มุมปล่อยปุ๋ย 70°	60
4.14 ผลการหว่านปุ๋ย KCl ในแปลงจริงด้วยระบบลม	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1 บทนำ

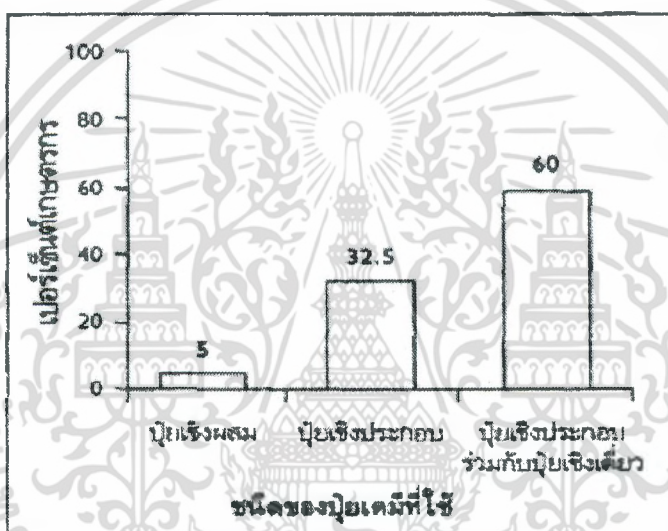
### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น และจัดเป็นพืชน้ำมันที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งเป็นอาหาร (Food) และไม่ใช่อาหาร (Non-food) หรือมีประโยชน์ทั้งด้านการบริโภคและอุปโภค และเป็นพืชที่มีการเพาะปลูกได้เฉพาะในพื้นที่เขตร้อนของโลกที่อยู่ระหว่างเส้นละติจูด 10 องศาเหนือ-ใต้ จะเห็นได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพแวดล้อมที่มีความเหมาะสม ปัจจุบันปาล์มน้ำมันในประเทศไทยมี พื้นที่ปลูกรวม 4.2 ล้านไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 88 อยู่ในภาคใต้ ปลูกมากที่จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร รองลงมาเป็นภาคตะวันออกและภาคกลางร้อยละ 11 ส่วนภาคอื่นๆ ร้อยละ 1 พื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้วมี ประมาณ 3.87 ล้านไร่ ให้ผลผลิตปาล์มสดรวม 10.06 ล้านตัน สกัดน้ำมันปาล์มได้ 1.72 ล้านลิตร น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ 0.98 ล้านลิตร โดยนำไปผลิตไบโอดีเซล 0.46 ล้านลิตร ที่เหลือส่งออก 0.28 ล้านลิตร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) แต่อย่างไรก็ตามในการผลิตปาล์ม น้ำมันหรือการสร้างสวนปาล์มน้ำมันให้ประสบความสำเร็จ ได้ผลผลิตที่คุ้มค่ากับการลงทุน และได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าสูงที่สุดนั้น ควรจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะพันธุ์ที่ดี ความรู้ พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะธรรมชาติหรือความต้องการของพืช

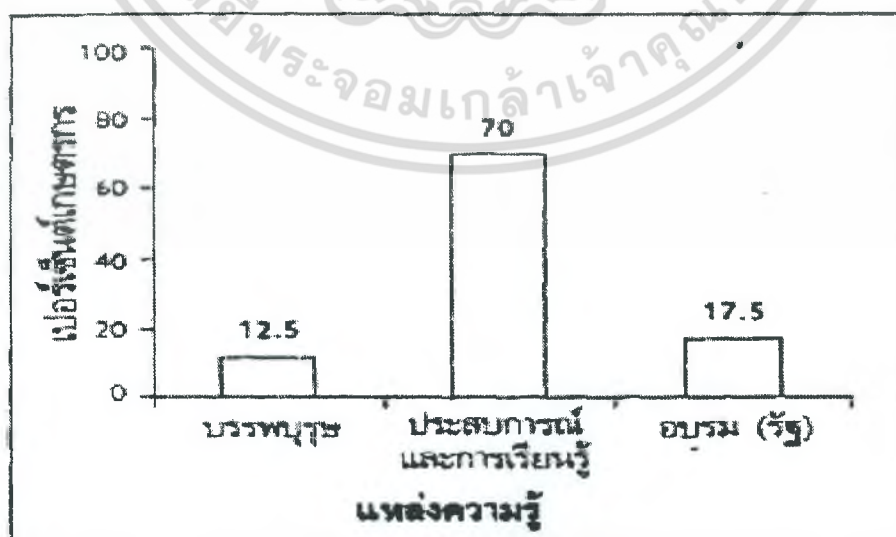
ผลจากการเปิดเสรีทางการค้าในกลุ่มประเทศอาเซียนตามข้อตกลงการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) มีผลกระทบต่อสินค้าปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มเนื่องจากประเทศคู่แข่ง คือ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มีต้นทุนการผลิตสินค้าต่ำกว่าประเทศไทย ซึ่งหากมีการนำเข้าน้ำมันปาล์มราคาถูกจากประเทศดังกล่าว จะมีผลกระทบทำให้ราคาผลผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศตกต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ปัญหาการผลิตปาล์ม น้ำมันของเกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมันของไทย ซึ่งจากรายงานสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555) พบว่า ต้นทุนการผลิตปาล์มน้ำมันของไทยเพิ่มสูงขึ้นจากการผลิตปี 2552 (2.71 บาท/กิโลกรัม) และใน ปี 2553 (2.90 บาท/กิโลกรัม) มีสาเหตุหลักมาจากราคาปุ๋ยเคมีที่สูงขึ้น เกษตรกรใช้ปุ๋ยในอัตราที่มากเกินความต้องการของพืช และพบว่าโครงสร้างต้นทุนการผลิตปาล์มน้ำมันร้อยละ 40 เป็นค่าปุ๋ยเคมี ซึ่ง ในการลดต้นทุนการผลิต เกษตรกรต้องให้ปุ๋ยให้ถูกต้องเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และความต้องการของ ต้นปาล์ม น้ำมัน โดยเกษตรกรควรตรวจวิเคราะห์ดิน และใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำเพื่อให้ต้นปาล์มน้ำมัน ได้รับธาตุอาหารอย่างเหมาะสม ลดค่าใช้จ่ายปุ๋ยเคมี ช่วยเพิ่มผลตอบแทนแก่เกษตรกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งสวนปาล์มน้ำมันที่มีขนาดใหญ่ การจัดการเรื่องการให้ปุ๋ยนั้นต้องใช้เวลาและแรงงานค่อนข้างมาก ซึ่ง ในปัจจุบันการให้ปุ๋ยเคมีกับปาล์มน้ำมันของเกษตรกร จะประกอบด้วย 3 ลักษณะคือ ปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบ และปุ๋ยเชิงเดี่ยวร่วมกับปุ๋ยเชิงประกอบ และนิยมใช้ปุ๋ยเชิงเดี่ยวร่วมกับปุ๋ยเชิงประกอบ ซึ่งมีธาตุอาหาร 4 ชนิดคือ ยูเรีย, ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต, โพแทสเซียมคลอไรด์ และคิเซอร์ไรท์ (ภาพที่ 1.1) ทั้งนี้เพราะจะได้ธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสูงกว่าปุ๋ยผสม ซึ่งปริมาณของปุ๋ยที่จะให้ขึ้นอยู่กับ อายุของต้นปาล์ม ความสมบูรณ์ของดิน และวิเคราะห์เนื้อเยื่อของใบสำหรับการตรวจสอบสุขภาพ ของต้นปาล์มน้ำมัน เพื่อจะได้ทราบถึงความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน ที่กล่าวมานี้เป็นการ จัดการในสวนปาล์มน้ำมันขนาดใหญ่ แต่เกษตรกรรายย่อยจะกำหนดปริมาณของปุ๋ยตามประสบการณ์ คำแนะนำของร้านปุ๋ย สำนักงานเกษตรหรือบรรพบุรุษ ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่จะกำหนดปริมาณปุ๋ย ตามประสบการณ์ (ภาพที่ 1.2) ซึ่งการให้ปุ๋ยของเกษตรกรให้บนพื้นที่ที่ถูกกำจัดวัชพืช (Weeded circle) ซึ่งจะอยู่รอบๆ รัศมีประมาณ 2.75 เมตรจากลำต้นปาล์มน้ำมัน ปุ๋ยทั้งหมดจะอยู่บนพื้นที่เดียวกันและ จะสะสมกันบริเวณนี้เป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่อาจรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารของรากปาล์มน้ำมันลดลง อีกทั้งปุ๋ยส่วนเกินก่อให้เกิดความเป็นกรดของดิน และจะสูญเสียปุ๋ยไปกับการระเหยหรือการชะล้าง การให้ปุ๋ยลักษณะดังกล่าวของเกษตรกรไทยจึงเป็นการจัดการที่ไม่ดี เพราะไม่เป็นการทำให้เกิดความเหมาะสมของสวนปาล์มน้ำมันและยังก่อให้เกิดความเป็นกรดของดิน การแก้ไขปัญหานี้เกษตรกรควร ปรับปรุงวิธีการให้ปุ๋ยที่มากเกินไปสวนปาล์มน้ำมันจะรับได้ และลดความสูญเสียของปุ๋ย

(Yenphayab et al., 2011) ศึกษาพบว่ามียูเรียเพื่อการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับ สวนปาล์มน้ำมันโดยการหว่านปุ๋ยเฉพาะที่ลงบนแปลงปาล์มน้ำมัน ดังนี้ พื้นที่สำหรับธาตุไนโตรเจน (Urea) คือ การหว่านให้สม่ำเสมอครอบคลุมเป็นแนวหน้ากว้าง พื้นที่สำหรับธาตุฟอสฟอรัสและ คีเซอโรไรท์ (DAP) และ (MgO) ตามลำดับ คือ การใส่บนถนนในแปลงระหว่างแถว และพื้นที่สำหรับธาตุ โพแทสเซียม (KCl) คือ ใส่บนกองทางใบปาล์มน้ำมัน (ภาพที่ 1.3)

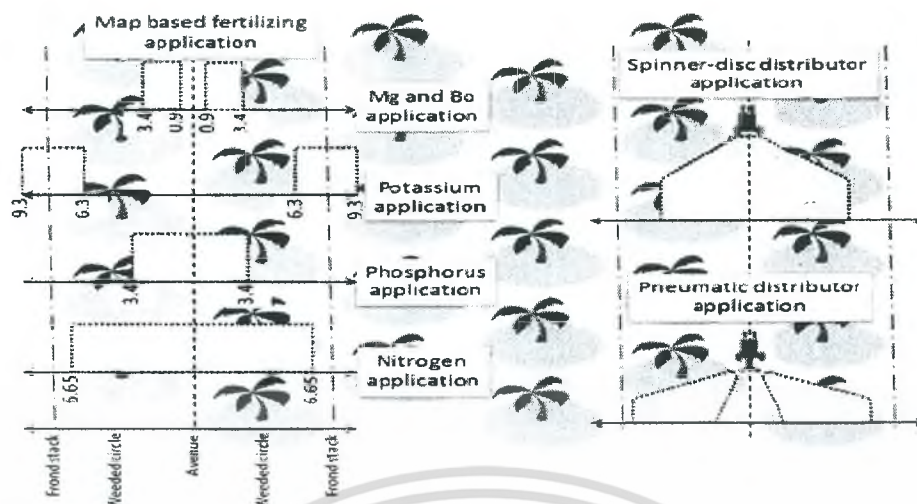


ภาพที่ 1.1 ชนิดปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ (ชัยรัตน์ และคณะ, 2551)



ภาพที่ 1.2 ความรู้ในการกำหนดปริมาณปุ๋ยของเกษตรกร (ชัยรัตน์ และคณะ, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.3 แผนผังแสดงตำแหน่งของการหว่านปุ๋ยแต่ละชนิด (Yenphayab et al., 2011)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นที่จะต้องใส่ปุ๋ยโดยให้ธาตุอาหารต่างๆ อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมตามแผนผังดังกล่าวที่ 1.3 จึงได้มีการพัฒนาต้นแบบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งจากแนวคิดเครื่องจะมีจุดเด่น คือ สามารถทำการหว่านปุ๋ยได้พร้อมกันหลายชนิด ปรับอัตราการจ่ายปุ๋ยแต่ละชนิดตามความต้องการของต้นปาล์มน้ำมัน และจะอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการตามความเหมาะสม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาเทคนิควิธีการให้ปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่า สามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมันได้
- 1.2.2 ออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยที่สามารถทำการหว่านปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับเทคนิควิธีการให้ปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ (ตามวัตถุประสงค์ข้อหนึ่ง)
- 1.2.3 ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยต้นแบบ วิเคราะห์ความคุ้มค่า และศึกษาความเป็นไปได้ในการต่อยอดเทคโนโลยีที่ทันสมัย รวมไปถึงการผลิตเพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 เป็นการศึกษาวิธีการหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันที่ให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูง และเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการประยุกต์สร้างเป็นเครื่องหว่านปุ๋ยได้ โดยเน้นการให้ปุ๋ยสำหรับปาล์มโตมีอายุมากกว่า 5 ปีขึ้นไป
- 1.3.2 ทำการพัฒนากลไกต้นแบบเครื่องหว่านปุ๋ย และศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรในแปลงเพาะปลูกจริง
- 1.3.3 แปลงปลูกที่ใช้สำหรับการศึกษาเป็นแปลงปลูกปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ราบ หรือมีความลาดชันต่ำ คือน้อยกว่า ๑๒ องศา ความหนาแน่นในการปลูกคือ ๒๒ ต้นต่อไร่(ระยะปลูกห่างกัน๙ เมตร) โดยในการศึกษานี้จะใช้แปลงปลูกปาล์มน้ำมันของ สจล.วช.ชุมพร ในการศึกษา
- 1.3.4 การประเมินสมรรถนะของเครื่องหว่านปุ๋ยต้นแบบจะพิจารณาจาก ความแม่นยำในการหว่าน เอกสารนี้เป็น และ ประสิทธิภาพการให้ปุ๋ย ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษานี้มุ่งเน้นที่การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน ที่มีประสิทธิภาพโดยมีกระบวนการศึกษาดังนี้

1.4.1 การศึกษาวิธีการให้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับเครื่องหว่านปุ๋ย โดยมีเป้าหมายในการศึกษาคือ สามารถกำหนดปริมาณการจ่ายปุ๋ยที่เหมาะสม ตำแหน่งการหว่านปุ๋ยแต่ละชนิดบนแปลงปาล์มน้ำมัน และสภาพพื้นที่เพาะปลูกจริงที่มีผลกับการใช้งานเครื่องหว่านปุ๋ย

1.4.2 การออกแบบและพัฒนากลไกต้นแบบของเครื่องหว่านปุ๋ย ซึ่งเครื่องหว่านปุ๋ยจะมีส่วนประกอบต่างๆได้แก่

- ถังบรรจุปุ๋ย สามารถบรรจุแม่ปุ๋ยได้ทุกชนิด โดยทำการออกแบบให้มีการแบ่งสัดส่วนการบรรจุปุ๋ยแต่ละชนิดอย่างเหมาะสม ทำจากวัสดุที่ไม่ถูกกัดกร่อนจากปุ๋ย และทำความสะอาดง่าย

- กลไกกำหนดปริมาณการจ่ายปุ๋ย จะติดตั้งอยู่ใต้ถังบรรจุปุ๋ย โดยมีอุปกรณ์กำหนดปริมาณปุ๋ยแต่ละชนิดแยกกันไปเพื่อให้สามารถปรับอัตราการจ่ายปุ๋ยแต่ละชนิดได้อย่างอิสระ ทั้งนี้กลไกดังกล่าวจะต้องมีความแม่นยำในการกำหนดปริมาณปุ๋ยแต่ละชนิดอย่างสม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาในการทำงาน

- ระบบลำเลียงปุ๋ยด้วยลมลำเลียง เป็นกลไกหลักที่ทำหน้าที่ผลักดันปุ๋ยแต่ละชนิดให้ถูกหว่านออกไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมในแปลงปาล์มน้ำมัน โดยมีหน้าที่หลักในการเพิ่มความเร็วของปุ๋ยในแนวระดับ ให้มีความเร็วสูงมากเพียงพอที่จะพุ่งออกไปจากหัวพ่นแล้วเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ

- หัวพ่นปุ๋ย เป็นกลไกทำหน้าที่ในการกำหนดทิศทางการหว่านและกระจายปุ๋ยที่มีความเร็วสูงออกไปยังพื้นดินให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง

1.4.3 การพัฒนาต้นแบบเครื่องหว่าน ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของกลไกแต่ละส่วน และปรับแก้กลไกให้ทำงานได้ตรงตามฟังก์ชันการทำงานที่ออกแบบไว้ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะเป็นการดำเนินการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ทำการทดสอบกลไกแต่ละชนิดเพื่อศึกษาอย่างละเอียดในการควบคุมการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพ การทดสอบตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการหว่านปุ๋ย และเมื่อนำกลไกแต่ละชิ้นมาประกอบและทำงานร่วมกันจะปรับตั้งอย่างไรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบและพัฒนาต้นแบบกลไกการหว่าน เพื่อสามารถเรียนรู้ถึงปัจจัยหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลกับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง รวมไปถึงวิธีการปรับตั้งกลไกให้สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงในแปลงปาล์มน้ำมัน

1.4.4 ทดสอบประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบในการทำงาน ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยต้นแบบ โดยการทดสอบจะออกแบบไว้ในสองกรณีคือ การศึกษารูปแบบการหว่านของปุ๋ยแต่ละชนิด ทั้งในเงื่อนไขอยู่กับที่ (ทำการหว่านปุ๋ยในขณะที่จอดรถแทรกเตอร์) เพื่อศึกษาความแม่นยำในการจ่ายปุ๋ยและตำแหน่งการหล่นของปุ๋ยแต่ละชนิดว่ามีรูปแบบการกระจายตัวอย่างไร และเงื่อนไขการวิ่ง (หว่านปุ๋ยในขณะที่รถแทรกเตอร์วิ่งด้วยความเร็วตามที่ออกแบบไว้) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการหว่านของปุ๋ยแต่ละชนิดในแปลง เพื่อสามารถเปรียบเทียบได้ว่า ในลักษณะการหว่านจริง ปุ๋ยแต่ละชนิดถูกหว่านลงบนตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่อย่างไร จะสามารถปรับแก้ได้อย่างไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เครื่องต้นแบบ เครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง
- 1.5.2 สามารถนำผลงานวิจัยไปต่อยอดเพื่อพัฒนาเป็นเครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน สำหรับเชิงพาณิชย์และได้รับการเผยแพร่ใช้งานอย่างแพร่หลาย
- 1.5.3 สร้างองค์ความรู้ใหม่ สำหรับการออกแบบระบบลำเลียงและพ่นวัสดุด้วยลม (Pneumatic Applicator) ที่สามารถลำเลียงวัสดุปริมาณมวล (Bulk Materials) เช่นปุ๋ยแบบต่างๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

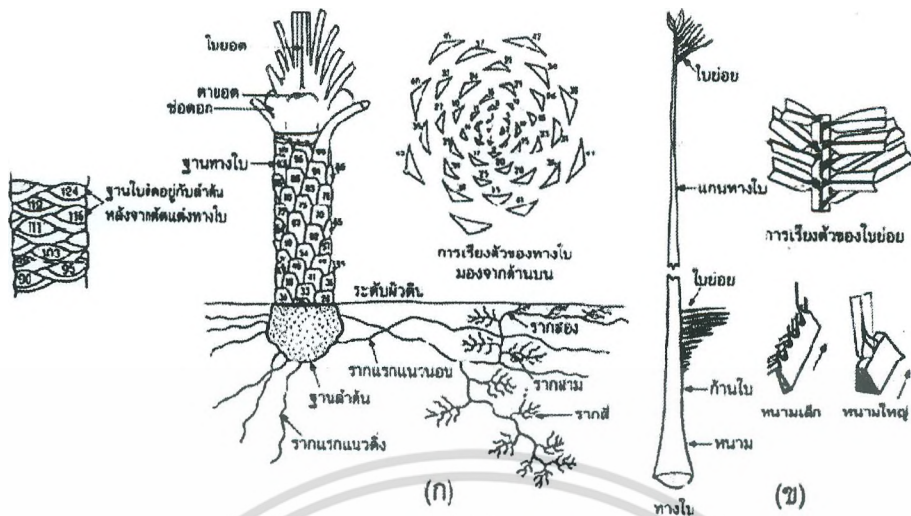
#### 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

ชื่อสามัญ	ปาล์มน้ำมัน (Oil palm)
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Elaeis guineensis</i>
สายพันธุ์ปลูกเป็นการค้า	ลูกผสมเทเนอรา (ฟิสิเฟอร์่า)
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
จำนวนทะลาย	10-12 ทะลาย/ต้น/ปี
น้ำหนัก/ทะลาย	10-30 กิโลกรัม
น้ำหนัก/ผล	3-30 กรัม
น้ำมัน/ทะลาย	22-24 เปอร์เซ็นต์
ผลผลิตน้ำมัน	640-800 กิโลกรัม/ไร่
ความหนาแน่นของต้น	22-25 ต้น/ไร่
อายุการเก็บเกี่ยวตลอดการปลูก	20-30 ปี
ระยะปลูกที่แนะนำ	9 x 9 เมตร

##### 2.1.1 ราก

ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบรากฝอย ประกอบด้วยรากชุดต่างๆ ประมาณ 4 ชุด (ภาพที่ 2.1) รากชุดแรกที่อยู่ในระดับแนวนอนยาว 3-4 เมตรจากต้น และอาจยาวยาวถึง 19 เมตร อยู่ในแนวตั้ง 1-2 เมตรจากผิวดิน ซึ่งทำหน้าที่เกิดรากชุดต่อไป ดูดธาตุดูดอาหาร และพุงลำต้น สำหรับรากชุดที่สอง เจริญเติบโตตั้งฉากกับรากชุดแรกตามแนวตั้ง เจริญเติบโตขึ้นด้านบน มีหน้าที่หลักทำให้เกิดรากที่สาม และสี่ ซึ่งจะเกิดเรียงตามลำดับ โดยทั่วไปจะเกิดมาก สามารถดูดซับน้ำและธาตุดูดอาหารที่ปาล์มนำมาใช้ ประโยชน์ที่ระดับความลึก 30-50 เมตรจากผิวดิน (พรชัย, 2549) การแผ่กระจายของราก ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่มีรากตื้น ซึ่งการแผ่กระจายของ รากจะลึกหรือกว้างห่างจากโคนต้นเท่าไร ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เนื้อดิน และความลึกของระดับน้ำ ใต้ดิน จากการศึกษาของ พรชัย (2549) พบว่า การแผ่กระจายของรากตอบสนองต่อความชื้นและ แหล่งธาตุดูดอาหารในดิน จึงพบรากของปาล์มน้ำมันบริเวณระหว่างแถวที่มีกองทางใบปาล์ม น้ำมันอยู่ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความชื้นสูงและมีธาตุดูดอาหารอุดมสมบูรณ์ ซึ่งรากปาล์มน้ำมันที่เป็นรากหาอาหารจะ หนาแน่นบริเวณรอบโคนรัศมี 3-4 เมตร และประมาณ 3.5-4.5 เมตรในปาล์มน้ำมันอายุประมาณ 10 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ระบบรากและส่วนต่างๆ ของต้น (ข) ส่วนต่างๆ ของทางใบ  
ภาพที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน (บุษบา, 2548)

## 2.2 การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชอายุยาวมีช่วงการให้ผลผลิตนานมากกว่า 20 ปี โดยปกติปาล์มน้ำมันจะเริ่มให้ผลผลิตตั้งแต่อายุประมาณ 3 ปี เมื่ออายุมากขึ้นผลผลิตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับหนึ่งผลผลิตจะคงที่และรักษาระดับของผลผลิตไว้จนกระทั่งเมื่อปาล์มอายุมากขึ้นผลผลิตจะค่อยๆ ลดลงดังนั้นในการสร้างสวนปาล์มเพื่อให้ประสบผลสำเร็จจะต้องคำนึงถึง 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ พื้นที่ปลูก พันธุ์ปลูก การจัดการสวนที่ถูกต้อง และตลาด

### 2.2.1 การปลูกต้นปาล์ม

2.2.1.1 การเตรียมพื้นที่ ซึ่ง กรมวิชาการเกษตร (2551) แนะนำว่าควรดำเนินการในฤดูแล้ง ในระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ดังต่อไปนี้ ปรับเปลี่ยนพื้นที่ กำจัดวัชพืชและตอไม้ ทำถนนในแปลงเพื่อใช้ขนส่งวัสดุการเกษตรและผลผลิตในแปลง การวางแผนทำถนนในแปลงจะขึ้นอยู่กับขนาดของ สวนปาล์ม น้ำมัน โดยทั่วไปรูปแบบของถนนมี 3 แบบ คือ

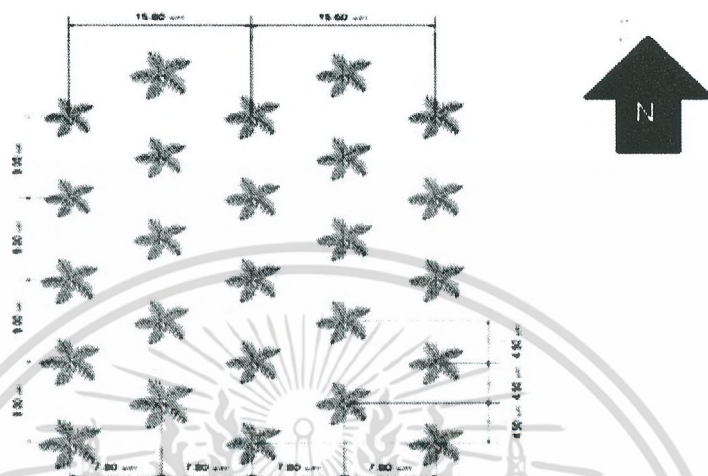
1) ถนนใหญ่กว้างประมาณ 5-8 เมตร ห่างกัน 120 ต้นปาล์ม เพื่อใช้เป็นเส้นทางขนส่งวัสดุการเกษตร และผลผลิตไปโรงสกัดน้ำมันปาล์ม (สำหรับถนนเข้าแปลง หรือ ถนนซอยแยกออกจากถนนใหญ่) มีความกว้างประมาณ 4-5 เมตร ห่างกันประมาณ 40 ต้นปาล์มเพื่อใช้สำหรับขนส่งวัสดุการเกษตรเข้าสวนปาล์มและขนส่งผลผลิต

2) ถนนซอยแยกจากถนนเข้าแปลง ขนาดกว้างประมาณ 3-4 เมตร ห่างกัน ประมาณ 20 ต้นปาล์ม ซึ่งสามารถทำถนนซอยขนานไปกับแถวของต้นปาล์มน้ำมันได้ ใช้ขนส่งวัสดุ การเกษตรและผลผลิต

3) ทำช่องระบายน้ำขนาด 100 x 30 x 110 ซม. (ด้านบน x ด้านล่าง x ลึก) ควบคู่ไปกับการทำถนนในแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน

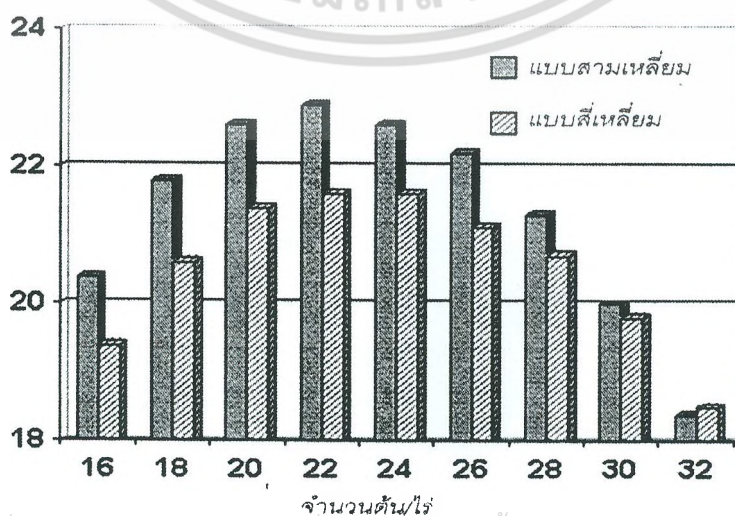
2.2.1.2 การวางแผนปลูก หลังจากเตรียมพื้นที่สร้างถนนและทางระบายน้ำ จึงวางแผนปลูกให้สอดคล้องกับความลาดเทของพื้นที่และการระบายน้ำ ที่สำคัญคือ การปลูกต้นปาล์มให้ทุกต้นได้รับแสงแดดมากที่สุดและสม่ำเสมอเพื่อการสังเคราะห์แสง โดยกำหนดให้แถวปลูกหลักอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งถ้าไม่ทราบวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรมวิชาการเกษตร (2548) แนะนำการปลูกปาล์มน้ำมันที่นิยม คือ ปลูกแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า (ภาพที่ 2.2) ซึ่ง พรชัย (2549) กล่าวว่า ระยะปลูกที่เหมาะสมมีผลกระทบต่อผลผลิต การปลูกถี่หรือห่างเกินไป มีผลกระทบต่อผลผลิตลดลง (ภาพที่ 2.3) และระยะปลูกแบบสามเหลี่ยมต่างๆ (ตารางที่ 2.1)



ภาพที่ 2.2 ผังการปลูกปาล์มน้ำมันแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า ระยะปลูก 9.00 เมตร  
(กรมวิชาการเกษตร, 2548)

วิธีวางผังปลูกปาล์มน้ำมัน (ระยะ 9.00 เมตร) ปักหลักแถวแรกตามแนวทิศเหนือ-ใต้ห่างกัน 9.00 เมตร (โดยเริ่มต้นจากมุมใดมุมหนึ่งของแปลงปลูก) จากหลักแรกของแถวที่ 1 ปักหลักตามแนวตั้งฉากกับแถวที่ 1 ในทิศตะวันออก-ตะวันตก และให้หลักห่างกัน 7.79 เมตร (ซึ่งหลักในแนวตั้งกล่าวจะเป็นแนวของแถวที่ 2, 3, 4) เริ่มปักหลักแรกของแถวที่ 2 ที่ระยะห่างกับแถวแรก 7.79 เมตร และทำมุม 30 องศาที่หลักแรกของแถวที่ 1 หรือห่างจากแนวตั้งฉากกับแถวแรก 4.5 เมตร ปักหลักที่ 2, 3, 4 ของแถวที่ 2 ให้ห่างกัน 9.00 เมตร ขนานกับแถวที่ 1 ปักหลักแรกของแถวที่ 3 ระยะห่างกับแถวที่ 2 คือ 7.79 เมตร และให้อยู่ในแนวทำมุมฉากที่หลักแรกของแถวที่ 1 ปักหลักในแถวที่ 4, 6, 8, 10 ให้ทำเช่นเดียวกับแถวที่ 2 แถวที่ 5, 7, 9, 11 ให้ทำเช่นเดียวกับแถวที่ 3 (กรมวิชาการเกษตร, 2548)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ภาพที่ 2.3 ผลผลิตปาล์มน้ำมันสะสมรวมที่มีจำนวนต้น/ไร่ต่างกัน (พรชัย, 2549)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ระยะปลูกแบบสามเหลี่ยมต่างๆ (พรชัย, 2549)

ระยะปลูกแบบสามเหลี่ยม (เมตร)	จำนวนต้น/ไร่
8.5 × 8.5 × 8.5	25-26
9.0 × 9.0 × 9.0	22-23
9.5 × 9.5 × 9.5	20-21
10.0 × 10.0 × 10.0	19-20

### 2.2.2 พื้นที่ปลูก

พื้นที่ปลูกถือเป็นปัจจัยสำคัญเบื้องต้นในการสร้างสวนปาล์มน้ำมัน โดยการเลือกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันต้องคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ความลาดชัน การท่วมขังของน้ำ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำ/ความสามารถในการซึมซับน้ำของดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน ส่วนสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณและการกระจายของฝน แสงแดด อุณหภูมิ ลม ซึ่ง บุชบา (2548) กล่าวว่า ควรปลูก ปาล์มน้ำมันที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 300 เมตร ความลาดเอียง 1-12 เปอร์เซ็นต์ และ ในกรณีที่พื้นที่มีความลาดชันเกินกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ ควรทำขั้นบันไดเพื่อลดการชะล้างของดิน ซึ่งถ้า สภาพพื้นที่ปลูกไม่เหมาะสมมีผล 2 ประการใหญ่ คือ ประการแรกมีผลต่อต้นทุนในการเตรียมพื้นที่ หากพื้นที่ปลูกมีความเหมาะสมมีสภาพราบเรียบ การระบายน้ำดี ต้นทุนในการเตรียมพื้นที่ปลูกก็จะต่ำ แต่ถ้าหากสภาพพื้นที่ปลูกไม่เหมาะสมจำเป็นต้องปรับสภาพพื้นที่ เช่น มีการขุดคูระบายน้ำสำหรับพื้นที่ซึ่ง มีน้ำขัง หรือทำขั้นบันไดในพื้นที่ซึ่งลาดชันต้นทุนจะสูง ประการที่สองมีผลต่อต้นทุนในการสร้างผลผลิต พบว่าในระดับที่ให้ผลผลิตเท่ากันการปลูกปาล์มในพื้นที่ที่เหมาะสมจะใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าปาล์ม ที่ปลูกในพื้นที่ซึ่งไม่เหมาะสม

### 2.2.3 การดูแลรักษา

2.3.3.1 การให้ปุ๋ย การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน ซึ่งปาล์มน้ำมันต้องการธาตุอาหารในปริมาณสูงและค่าใช้จ่ายในการใส่ปุ๋ยมีราคาแพง จึงจำเป็นต้องทราบชนิดและ อัตราการจ่ายปุ๋ย ตลอดจนวิธีการและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ย เพื่อลดต้นทุนการผลิต วิธีการ พื้นฐานในการประเมินความต้องการปุ๋ยของปาล์มน้ำมัน

- 1) ใช้ลักษณะอาการที่มองเห็นที่ต้นปาล์ม แสดงอาการขาดธาตุอาหาร
- 2) ใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ คือ การใส่ปุ๋ยเคมีตามผลการวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมัน

การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันโดยวิธีที่ 2 เป็นวิธีที่นิยมและแพร่หลายในปัจจุบัน คือ สามารถบอกระดับปริมาณความต้องการปุ๋ย โดยมีข้อแม้ว่าจะต้องเก็บใบที่ถูกต้องมาวิเคราะห์ และ ปริมาณผลผลิต ติดต่อกันอย่างน้อย 3-4 ปี นอกจากนี้ยังต้องใช้ข้อมูลการใส่ปุ๋ย การสังเกตอาการขาดธาตุอาหารของพืชการเจริญเติบโต และข้อมูลการวิเคราะห์ดินเพื่อประกอบการพิจารณาใส่ปุ๋ยต่อไป การใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมันด้วยวิธีนี้เกษตรกรต้องเก็บตัวอย่างใบส่งมาที่ กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ธาตุอาหาร และจัดส่งคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามผลการวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมันให้ เพื่อเป็นข้อมูลในการใส่ปุ๋ยเคมีต่อไป

## 2.3 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่ต้องการธาตุอาหารในปริมาณสูงในการเจริญเติบโต และให้ผลผลิต โดย ชัยรัตน์ และคณะ (2551) ได้มีการประมาณการให้ธาตุอาหารสะสมในช่วงการเจริญเติบโต 9 ปีแรก (ตารางที่ 2.2) ในขณะที่เดียวกันก็มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ทยอยสาดออกไปจากสวนด้วย ซึ่งทำให้มีการ สูญเสียธาตุอาหารไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารออกไปกับผลผลิตโดยทุกๆ 1,000 กก. ของผลผลิตนั้นทำให้ที่การสูญเสียธาตุอาหาร N, P, K, Mg และ Ca ออกไปประมาณ 2.94, 0.44, 3.71, 0.77 และ 0.81 กก. ตามลำดับ นอกจากนี้ การที่มีฝนตกชุกก็ทำให้มีการชะล้างธาตุอาหารออกไปจากดิน ทั้งที่ติดไปกับดินที่ถูกชะล้าง และชะล้าง สูญเสียไปกับน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และการ ให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน โดยการใส่ปุ๋ยซึ่งต้องมีการจัดการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายสำคัญดังนี้

- 1) ให้ได้สัดส่วนและปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมให้กับปาล์มน้ำมันเจริญเติบโตดีให้ผลผลิตสูง
- 2) ให้ได้ผลตอบแทน กำไรสูง
- 3) ทำให้ดินยังคงมีความอุดมสมบูรณ์
- 4) ควรพิจารณาให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.2 ธาตุอาหารสะสมในช่วงการเจริญเติบโต 9 ปีแรก (ชัยรัตน์ และคณะ, 2551)

ไนโตรเจน (N) กก./ไร่	ฟอสฟอรัส (P) กก./ไร่	โพแทสเซียม (K) กก./ไร่	แมกนีเซียม (Mg) กก./ไร่	แคลเซียม (Ca) กก./ไร่
196-275	32-43	296-398	50-67	84-115

#### 2.4 การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันในกรณีที่เกิดปัญหารุนแรง

ปาล์มน้ำมันต้องการธาตุอาหารที่จำเป็นทั้ง 16 ธาตุเหมือนกับพืชชนิดอื่น ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มตามลักษณะความต้องการของปาล์มน้ำมัน ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ต้องการใช้ในปริมาณมาก หรือค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโบรอน

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่พืชได้รับจากน้ำและอากาศ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่ปาล์มน้ำมันไม่ต้องการมากนัก มักไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหารในดินทั่วไป ได้แก่ แคลเซียม กำมะถัน คลอรีน ทองแดง แมงกานีส โมลิบดีนัม สังกะสี และเหล็ก

อย่างไรก็ตามปาล์มน้ำมันต้องการธาตุอาหารในกลุ่มที่ 1 มากที่สุด ธาตุอาหารทั้ง 5 นี้มีปฏิกริยาสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และมีอิทธิพลต่อขบวนการต่างๆ ซึ่งส่งผลให้มีการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตน้ำมันปาล์มในขั้นสุดท้าย กรณีที่ปาล์มน้ำมันขาดธาตุอาหารอย่างรุนแรงจนแสดงอาการขาดธาตุอาหารนั้นๆ ที่ใบ ซึ่งหมายถึง การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้ลดลงอย่างมากแล้วจำเป็นต้องมีการแก้ไขโดยให้ธาตุอาหารเพิ่มอย่างเร่งด่วนจากปุ๋ยในกรณีนี้สามารถสังเกตได้จากอาการขาดธาตุอาหารที่ใบ และต้องมีการแก้ไขดังนี้

##### 2.4.1 การขาดธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีผลต่อพื้นที่ใบ สีของใบ อัตราการเกิดใบใหม่ และการดูดซึมธาตุอาหาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน โดย ชีระพงศ์ (2551) กล่าวว่า อาการขาดไนโตรเจน มักพบในต้นปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินทรายต้นๆ หรือดินที่มีการระบายน้ำเร็ว พื้นที่ที่มีหญ้าคาปกคลุมหนาแน่นบริเวณรากของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากไปลดการตรึงไนโตรเจนของ ปาล์มน้ำมัน ซึ่งลักษณะอาการ ใบจะมีสีเหลืองซีด โดยเฉพาะทางใบด้านล่าง (ใบแก่ เนื่องจากไนโตรเจน จะเคลื่อนย้ายไปยังใบอ่อนที่เพิ่งเกิดใหม่) ใบใหม่ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลง ถ้าขาดรุนแรงใบจะมีสีเหลือง (ภาพที่ 2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.1.1 การแก้ไข

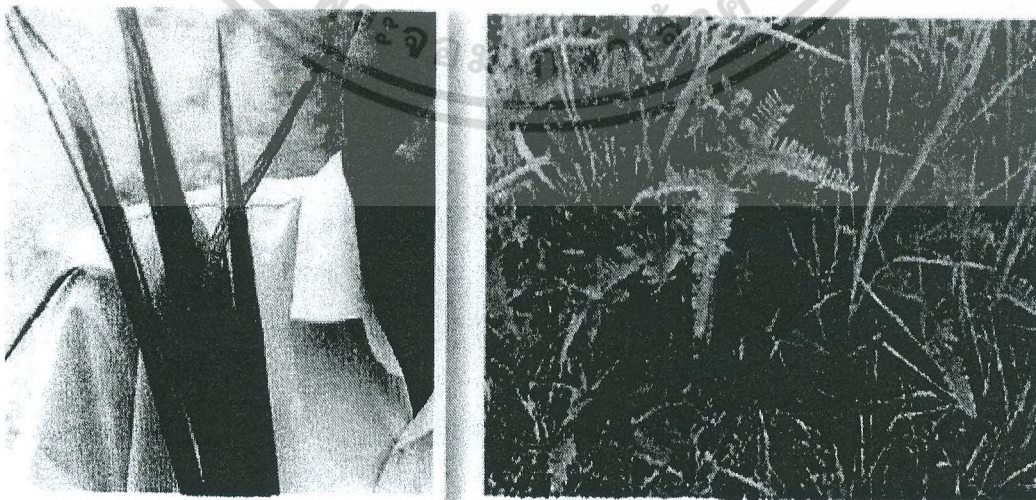
- 1) ปาล์มอายุ 2-3 ปี ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 0.5-1.5 กก./ต้น/ปี หรือปุ๋ย 21-0-0 อัตรา 1-2 กก./ต้น/ปี
- 2) ปาล์มอายุ 5-10 ปี ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 2-3 กก./ต้น/ปี หรือปุ๋ย 21-0-0 อัตรา 3-4 กก./ต้น/ปี



ภาพที่ 2.4 แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน

#### 2.4.2 การขาดธาตุฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมิบทบาทสำคัญในการสร้างองค์ประกอบของเซลล์ และการสืบพันธุ์ ทำหน้าที่เป็นตัวรับและการถ่ายพลังงานระหว่างสารต่างๆ ในกระบวนการที่สำคัญ เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ เป็นต้น ซึ่ง ชีระพงศ์ (2551) ได้กล่าวว่า ผลกระทบจากการขาดฟอสฟอรัส จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันต่ำ ทางใบสั้น ลำต้นเล็ก และขนาดของทะลายเล็ก การขาดธาตุอาหารฟอสฟอรัสอาจเกิดจากดินมีฟอสฟอรัสน้อย ฟอสฟอรัสจากอินทรีย์วัตถุถูกชะล้างไป หรือหญ้าคาขึ้นมาก ซึ่งสังเกตการขาดฟอสฟอรัสของปาล์มน้ำมันได้จากต้นหญ้าที่ขึ้นในบริเวณดังกล่าวมีสีม่วงในใบล่าง การแก้ไขโดยใส่ปุ๋ย 18-46-0 หรือหินฟอสเฟตคุณภาพดี อัตรา 1.5-2.0 กก./ต้น/ปี (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส (ชีระพงศ์, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 การขาดธาตุโพแทสเซียม

โพแทสเซียมมีส่วนช่วยให้ปาล์มน้ำมันทนทานต่อความแห้งแล้ง และโรค ซึ่งการที่ได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่เหมาะสม ช่วยให้ทะลายปาล์มน้ำมันมีขนาดใหญ่และจำนวนเพิ่มขึ้น ในดิน ททราย และดินพรุ มักมีปัญหาขาดโพแทสเซียมอย่างรุนแรง ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตปาล์มน้ำมัน ลดลง อาการขาดโพแทสเซียม อีระพงศ์ (2551) กล่าวว่า ลักษณะอาการขาดโพแทสเซียมค่อนข้าง แปรปรวน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และชนิดของพันธุ์ อาการที่พบโดยทั่วไปดังนี้

2.4.3.1 ลักษณะเป็นจุดสีส้มตามใบ บางครั้งพบเป็นจุดสีเหลืองซีด อาการเริ่มแรกจะเป็นจุดเหลืองซีดรูปร่างจุดไม่แน่นอนพบในใบย่อยทางใบล่าง เมื่ออาการรุนแรงจุดเหลืองจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม อาการรุนแรงมากขึ้นจุดเนื้อเยื่อตายตรงส่วนกลางของจุดสีส้ม แต่หากแสดงอาการเพียงต้นเดียวใน ขณะที่ต้นข้างเคียงไม่แสดงอาการให้พิจารณาว่าน่าจะเป็นผลทางพันธุกรรมมากกว่าอาการขาด โพแทสเซียม

2.4.3.2 อาการใบเหลืองหรือกลางทรงพุ่มเหลือง มักพบในดินทราย หรือดินพรุ โดยเฉพาะในช่วงขาดน้ำอย่างรุนแรง ใบย่อยทางใบกลางจนถึงทางใบล่างมีอาการสีเหลืองส้ม ถ้าอาการขาดโพแทสเซียมรุนแรงจะพบใบย่อยของทางใบล่างแห้งเพิ่มขึ้น และตายในที่สุด

2.4.3.3 อาการตุ่มแผลสีส้ม อาการเริ่มแรกจะมีลักษณะเป็นแถบสีเขียวมรกตในใบย่อย ของทางใบล่างของปาล์มน้ำมัน เมื่ออาการขาดโพแทสเซียมอย่างรุนแรง สีใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม น้ำตาลอมเข้ม และตายในที่สุด

2.4.3.4 แถบใบขาวมีลักษณะคล้ายแหงดินสอ มักพบตรงกลางของใบย่อยปาล์มน้ำมันอายุ 3-6 ปี อาการนี้อาจมีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารเนื่องจากปาล์มน้ำมันได้รับไนโตรเจน มากไป หรือได้รับโบรอนน้อยไป (ภาพที่ 2.6)

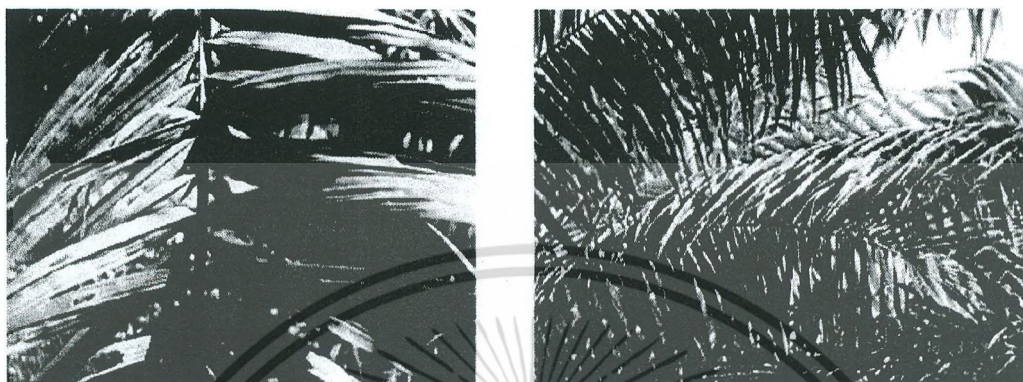


ภาพที่ 2.6 แสดงอาการขาดธาตุโพแทสเซียม (อีระพงศ์, 2551)

### 2.4.4 การขาดธาตุแมกนีเซียม

อาการขาดแมกนีเซียม มักพบในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันโดยเฉพาะในดินทราย สาเหตุอาจเกิดจากต้นปาล์มน้ำมันได้รับโพแทสเซียมมากเกินไปก็ได้ ซึ่ง อีระพงศ์ (2551) ได้กล่าวว่า อาการขาดแมกนีเซียมพบที่ใบย่อยของทางใบล่าง โดยใบจะมีสีเขียวซีด และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม มักเรียกอาการนี้ว่า “ทางใบสีส้ม” อาการระยะแรกใบมีสีซีดคล้ายสีเขียวมรกต เมื่ออาการรุนแรงขึ้นสีจะเปลี่ยนจากค้ำไม่วกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลืองเป็นเหลืองเข้ม และแห้งในที่สุด (ภาพที่ 2.7) ซึ่ง การแก้อาการขาดแมกนีเซียมที่รุนแรงให้ใส่ปุ๋ย คี เซอร์ไรท์ (MgO) 2-5 กิโลกรัมต่อต้น แบ่งใส่ 2 ครั้งต่อปี ซึ่งในการดูแลรักษาต้นปาล์มน้ำมันทุกๆ ไป ควรใส่ 0.5-1.5 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี โดยหว่านรอบๆ โคนต้นบริเวณที่มีการกำจัดวัชพืชแล้ว ต้นปาล์ม น้ำมันใหญ่ ควรใส่บริเวณระหว่างแถว



ภาพที่ 2.7 แสดงการขาดธาตุแมกนีเซียม (ธีระพงศ์, 2551)

## 2.5 ปริมาณปุ๋ยที่ให้แก่ต้นปาล์มตามช่วงอายุ

เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชอายุยาว ดังนั้นในการบริหารจัดการสวนปาล์มน้ำมันจะต้องดำเนินการถูกต้องตามหลักวิชาการ เพราะหากมีการจัดการผิดพลาดไปในช่วงแรกก็จะมีผลต่อการให้ผลผลิตในช่วงต่อไปของปาล์มน้ำมัน ซึ่งการบริหารจัดการสวนปาล์มน้ำมันมีการจัดการที่แตกต่างกันตามช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน โดย ธีระพงศ์ (2551) ได้แบ่งการจัดการเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงก่อนให้ผลผลิต (อายุ 1-3 ปี) ช่วงเร่งผลผลิต (อายุ 3-5 ปี) ช่วงรักษาระดับผลผลิต (อายุ 5-15 ปี) ช่วงผลผลิตลดลง (อายุ 15-25 ปี) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า มีความจำเป็นต้องจัดการสวนปาล์มน้ำมันให้ถูกต้องตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่ง ธีระ และคณะ (2548) ได้ศึกษาปาล์มน้ำมันในประเทศไทย และสรุปเป็นรูปแบบตารางการใส่ปุ๋ยตามช่วงอายุ (ตารางที่ 2.3, 2.4 และ 2.5) และยังมีการศึกษาของ สถาบันโพแทสและฟอสเฟส (2546) ซึ่งเป็น หน่วยงานที่ทำการศึกษาศาสตร์ปาล์มน้ำมันมายาวนานในประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย ได้สรุปเป็นรูปแบบ ตารางการใส่ปุ๋ยในช่วงอายุต่างๆ ไว้เช่นกัน (ตารางที่ 2.6) ในที่นี้อ้างอิงจาก ธีระ และคณะ (2548) เนื่องจากเป็นการศึกษากับปาล์ม น้ำมันในประเทศไทย ซึ่งจะนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบ เครื่องหว่านปุ๋ย

ตารางที่ 2.3 การใส่ปุ๋ยตามช่วงอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน (ธีระ และคณะ, 2548)

อายุ (ปี)	ชนิดปุ๋ย (N-P-K)			อัตรา(กก./ต้น/ปี)
	พื้นที่ปลูกขาดฝน ประมาณ 2 เดือน		พื้นที่ปลูกขาดฝน มากกว่า 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

\* อาจใช้ปุ๋ยเกรดอื่นที่มีธาตุใกล้เคียงแทนได้ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใส่ปุ๋ยที่ใช้ปุ๋ยเชิงเดี่ยว มีการให้ปุ๋ยที่เป็นธาตุอาหารหลัก (N, P, K) โดยพิจารณาจากอายุ และสภาพแวดล้อม ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การใส่ปุ๋ยเดี่ยว (N, P, K) ตามอายุพืช ความแห้งแล้ง และชนิดของดิน (ธีระ และคณะ, 2548)

อายุ(ปี)	พื้นที่ปลูกขาดฝนประมาณ 2 เดือน						พื้นที่ปลูกขาดฝนมากกว่า 2 เดือน		
	ดินร่วนเหนียว			ดินร่วนปนทราย			ดินร่วนปนทราย		
	AS	RP	KCL	AS	RP	KCL	AS	RP	KCL
1	1.00	0.70	0.35	1.30	50.70	0.35	1.00	0.70	0.35
2	1.65	0.93	1.17	2.00	0.95	1.40	1.35	0.70	0.95
3	2.35	1.40	1.85	2.65	1.40	2.10	2.00	1.00	1.65
4	2.35	1.40	2.35	2.65	1.40	2.55	2.00	1.00	2.00
<5	2.00	1.40	2.50	2.35	1.40	2.80	1.75	1.00	2.10

\* AS = ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต, RP = ปุ๋ยหินฟอสเฟต, KCL = ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ สำหรับธาตุอาหาร MgO และ B แนะนำให้ใส่ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การใส่ปุ๋ยคีเซอโรไรท์ (MgO) และโบแรกซ์ (B) ตามอายุพืช (ธีระ และคณะ, 2548)

อายุ (ปี)	คีเซอโรไรท์ (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

ตารางที่ 2.6 แสดงการใส่ปุ๋ยเคมีเชิงเดี่ยว (สถาบันโพแทสและฟอสเฟส, 2546)

อายุ (ปี)	ชนิดปุ๋ย ก.ก./ต้น/ปี					
	46-0-0 ก.ก./ต้น	0-3-0 ก.ก./ต้น	0-0-60 ก.ก./ต้น	คีเซอโรไรท์ ก.ก./ต้น	โบแรกซ์ กรัม/ต้น	รวม ก.ก./ต้น
1	0.56	0.75	0.45	0.10	30	1.89
2	1.50	1.00	2.25	0.50	60	5.37
3	2.50	1.50	3.00	1.00	90	8.09
4	2.00	1.50	4.00	1.00	100	7.60
5	2.75	1.50	4.00	1.00	80	9.33
6	2.50	1.50	4.00	1.00	-	9.00
7	2.50	1.50	4.00	1.00	-	9.00
8	2.50	1.50	4.00	1.00	-	9.00

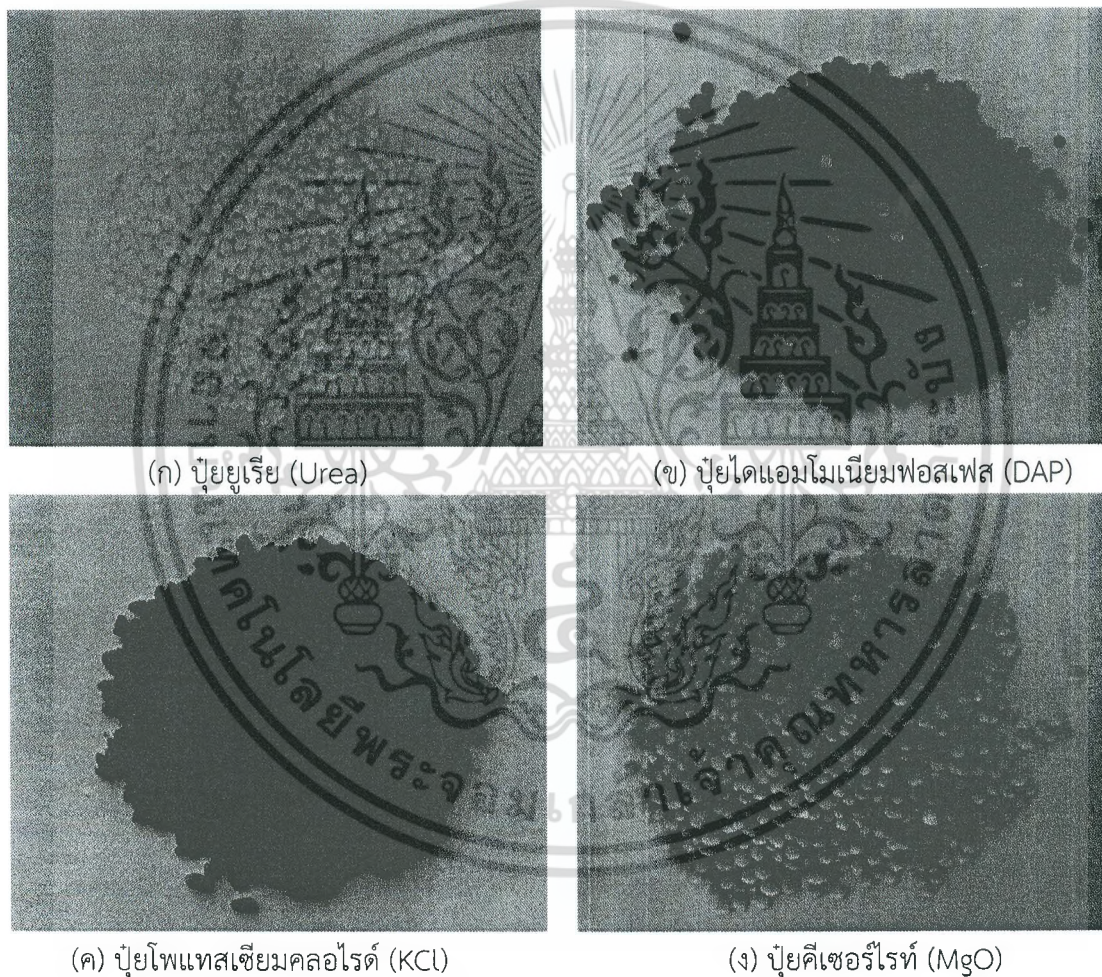
9ปีขึ้นไป เอกสาร 2.0-3.5 ใช้สำหรับ 0-1.5 ใช้งานเพื่อ 1.5-4.0 ฆ่าเท่านั้น 0-1.5 อนุญาตให้ 60-100 ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ลักษณะของปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางกายภาพของปุ๋ยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย

ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	Urea	DAP	KCl	MgO
มุมลื่นไถลของเม็ดปุ๋ย	26	25	28	21
ค่าความเสียดทาน (แผ่นเหล็กทาสี)	0.48	0.47	-	0.39
ค่าความเสียดทาน (แผ่นเหล็ก)	0.56	0.5	0.52	0.52
ความหนาแน่นในภาชนะ (Kg/~)	733	998.62	1165.7	1389.88
ขนาดของเม็ดปุ๋ย (mm)	3.48	3.23	3.41	3.49



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของปุ๋ยชนิดต่างๆ

## 2.7 เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้ในการใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยเป็นสารเคมีที่ให้แก่พืชเมื่อดินมีธาตุอาหารไม่เพียงพอแก่การเจริญเติบโต เมื่อดินที่ทำการเพาะปลูกพืชติดต่อกันนานๆ อาหารของพืชในดินก็ลดลงและพืชก็ให้ผลผลิตลดลง ผลผลิตที่สูงส่วนมากได้รับจากดินที่ได้รับปุ๋ยที่เหมาะสมทั้งชนิด และจำนวนที่ให้ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น ปุ๋ยคอก เมล็ด ของเหลว และก๊าซ การออกแบบอุปกรณ์เฉพาะปุ๋ยแต่ละแบบแต่ละชนิดของดิน รวมทั้งชนิดของพืช จึงมีการพัฒนากันตลอดเวลา โดยทั่วไปปุ๋ยจะอยู่ในรูปของแข็งซึ่งต้องการใช้ เครื่องมือหว่านหรือถ้าไม่ทราบวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยอดลงในดินต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใส่ที่ต้องการ ซึ่ง Hofstee et al., (1999) ได้แบ่งลักษณะการใส่ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 6 แบบ คือ

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

### 2.7.1 รูปแบบเครื่องหว่านปุ๋ย

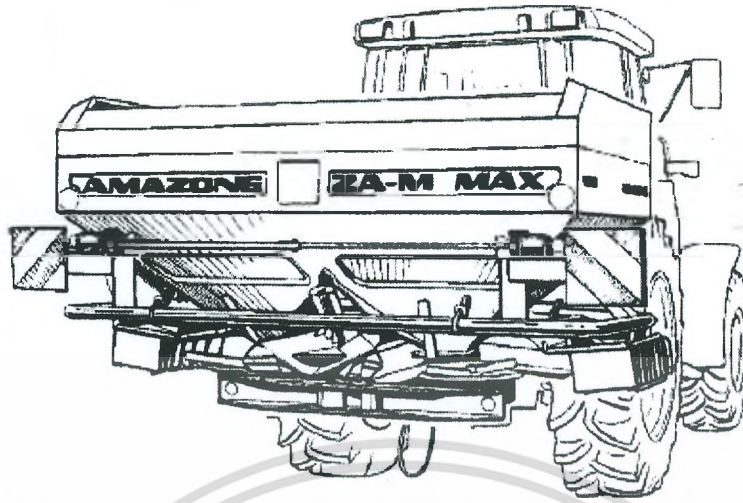
เครื่องมือที่ใช้สำหรับการหว่านปุ๋ยนั้นมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่ง Hofstee et al., (1999) ได้กล่าวว่า เครื่องหว่านปุ๋ยสามารถแบ่งเป็น 2 รูปแบบหลักๆ คือ เครื่องหว่านปุ๋ยที่สามารถปรับหน้ากว้างการทำงานได้ (แบบจานเหวี่ยงและแบบรางแกว่ง) และเครื่องหว่านปุ๋ยที่ไม่สามารถปรับหน้ากว้างการทำงานได้ (แบบระบบลม และแบบแผ่นสั้น)

2.7.1.1 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบจานเหวี่ยง (Spinning disc spreaders) จะประกอบไปด้วย 1 หรือ 2 จานเหวี่ยง ซึ่งมีครีบ 2 ตัวหรือมากกว่าติดตั้งบนจานเหวี่ยง มีถังบรรจุปุ๋ย (Hopper) ลักษณะ เป็นโคนติดตั้งอยู่เหนือจานเหวี่ยง และปุ๋ยจะถูกจ่ายเป็นกระแสด้วยแรงโน้มถ่วงหรือด้วยกลไกลำเลียงสู่ จานเหวี่ยง (ภาพที่ 2.9) ซึ่งจะทำให้การหว่านปุ๋ยออกไปด้วยความเร็วปกติช่วงระหว่าง 15 ถึง 50 m/s และสำหรับเครื่องหว่านปุ๋ยบางเครื่องอาจมีความเร็วสูงถึง 70 m/s ความเร็วที่สูงนี้สามารถเป็นผลต่อการได้ประสิทธิภาพหน้ากว้างการทำงานที่เพิ่มขึ้น

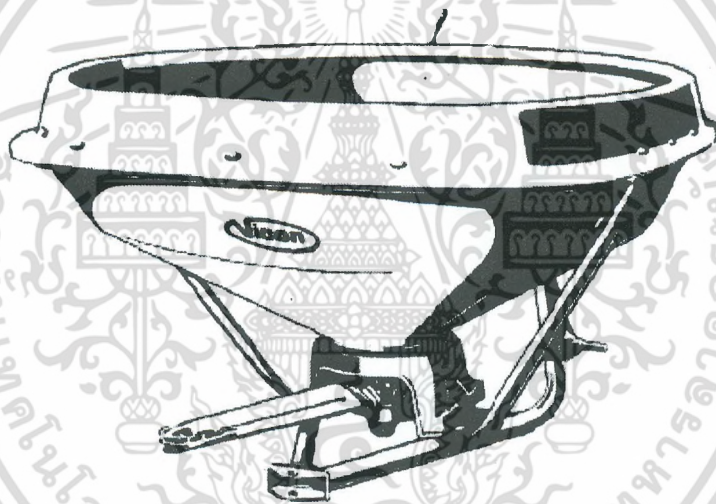
2.7.1.2 เครื่องหว่านแบบรางแกว่ง (Oscillating spout spreaders) จะทำการแกว่งเพื่อหว่านปุ๋ย ซึ่งปุ๋ยไหลจากถังบรรจุไปสู่รางด้วยตัวค้ำปุ๋ย ทำให้เกิดความเร็วยิ่งขึ้นไปตามความยาวของผนัง ราง และปุ๋ยจะออกจากรางหลังจากหนึ่งหรือสองกระทบบนผนัง (ภาพที่ 2.10)

2.7.1.3 เครื่องหว่านปุ๋ยระบบลม (Pneumatic spreaders) ปุ๋ยจ่ายจากลูกกลิ้งกำหนดปริมาณผ่านหัวจ่ายสู่กระแสดของอากาศ ปุ๋ยถูกส่งโดยกระแสดอากาศผ่านท่อ ซึ่งถูกกำหนดตำแหน่งการกระจายของปุ๋ย (ภาพที่ 2.11) ลูกกลิ้งกำหนดปริมาณถูกแบ่งออกเป็นท่อนๆ ซึ่งสามารถเปิดหรือปิดได้ ตามความต้องการปุ๋ย

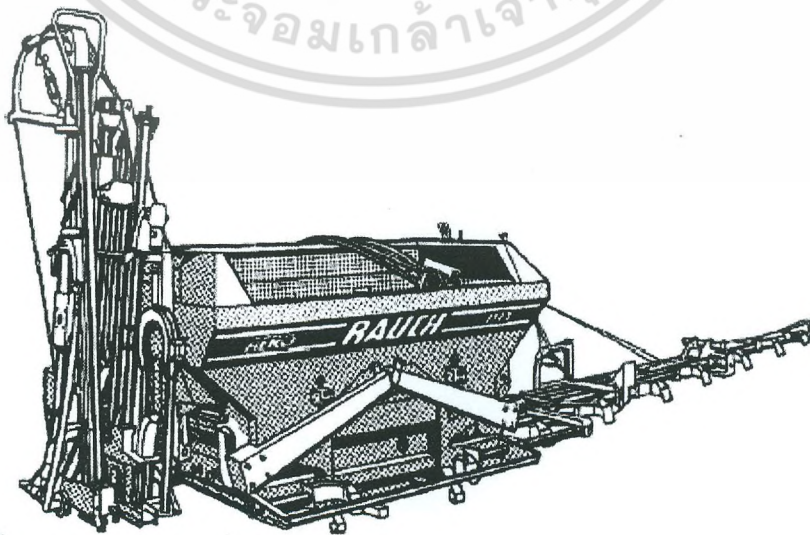
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างเครื่องหว่านปุยแบบจานเหวี่ยง (Hofstee et al., 1999)



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างเครื่องหว่านปุยแบบรางแกว่ง (Hofstee et al., 1999)

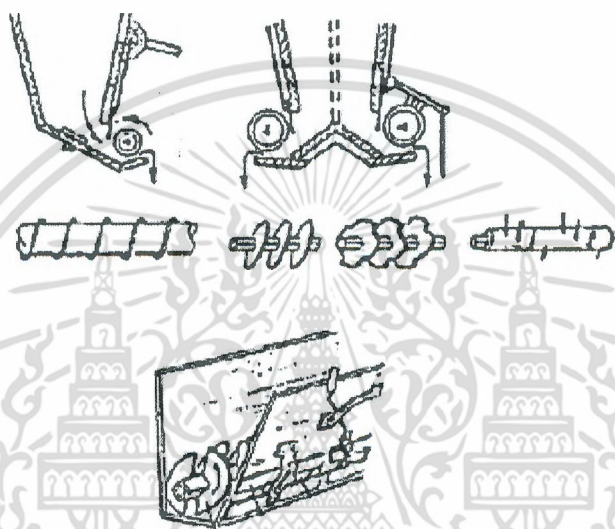


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.11 ตัวอย่างเครื่องหว่านปุยระบบลม (Hofstee et al., 1999) ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.2 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering device)

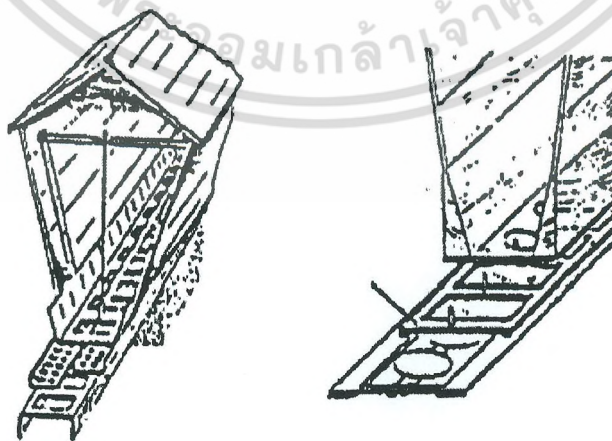
กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ย เป็นกลไกที่สามารถปรับอัตราการจ่ายปุ๋ยในปริมาณที่ต้องการได้ ซึ่ง Scheufler et al., (1999) ได้แบ่งลักษณะของกลไกดังนี้

2.7.2.1 แบบเกลียวนำปุ๋ย (Auger type) เกลียวนำปุ๋ยติดอยู่บนเพลากันถึง รับกำลังขับเคลื่อนจาก ล้อขับเคลื่อนของเครื่องโรย หรือจากมอเตอร์ที่ได้อีก แบบนี้จะค่อนข้างใช้ปริมาณปุ๋ยมากต่อการหมุน 1 รอบ การทำความสะอาดและหล่อลื่นทำได้ง่าย หวานได้สม่ำเสมอ และมีราคาถูก แต่มีข้อเสีย คือ เมื่อปุ๋ยเปียกชื้นจะทำงานไม่ได้ผล เนื่องจากปุ๋ยจะเกาะตัวกันเป็นสะพานอยู่เหนือเกลียวนำปุ๋ย



ภาพที่ 2.12 กลไกแบบเกลียวนำปุ๋ย (Scheufler et al., 1999)

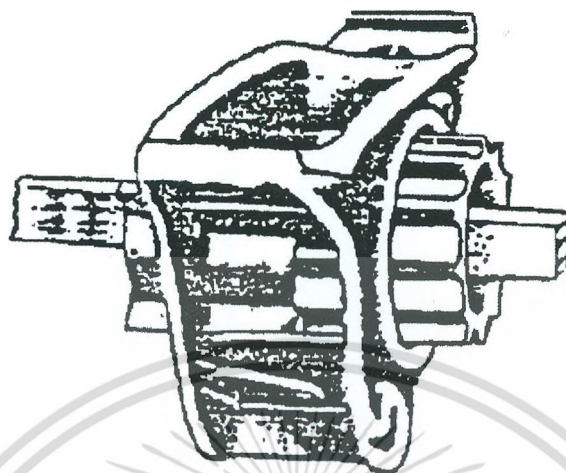
2.7.2.2 แบบแผ่นเลื่อน (Reciprocating plate type) แผ่นเลื่อน 2 แผ่น จะวางอยู่ที่พื้นของถังเจาะเป็นช่องๆ สามารถปรับให้ช่องเยื้องกันหรือตรงกันมากขึ้นน้อยได้ เพื่อปรับปริมาณปุ๋ย ทำให้ เลื่อนไปมาและปุ๋ยในถังร่วงลงสู่พื้นได้ แบบนี้ใช้หว่านปุ๋ยได้สม่ำเสมอดี



ภาพที่ 2.13 กลไกแบบแผ่นเลื่อน (Scheufler et al., 1999)

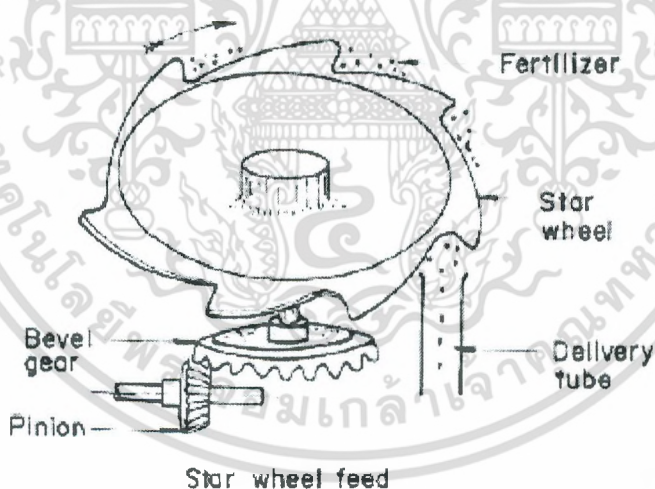
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.3 แบบลูกกลิ้งเซาะร่อง (Feed wheel) ลักษณะการทำงานเหมือนกับกลไกการขับเคลื่อนของเครื่องโรยเมล็ด การหมุนของลูกกลิ้งจะทำให้ปุ๋ยถูกขับออกมา



ภาพที่ 2.14 กลไกแบบลูกกลิ้งเซาะร่อง (Scheufler et al., 1999)

2.7.2.4 แบบเฟืองวงดาว (Star wheel type) เฟืองวงดาวจะถูกติดตั้งอยู่ที่ก้นถัง ปุ๋ยจะถูกซี่เฟืองนำมาปล่อยที่ช่องเปิด การปรับปริมาณปุ๋ยทำได้โดยเปลี่ยนความเร็วรอบของเฟือง

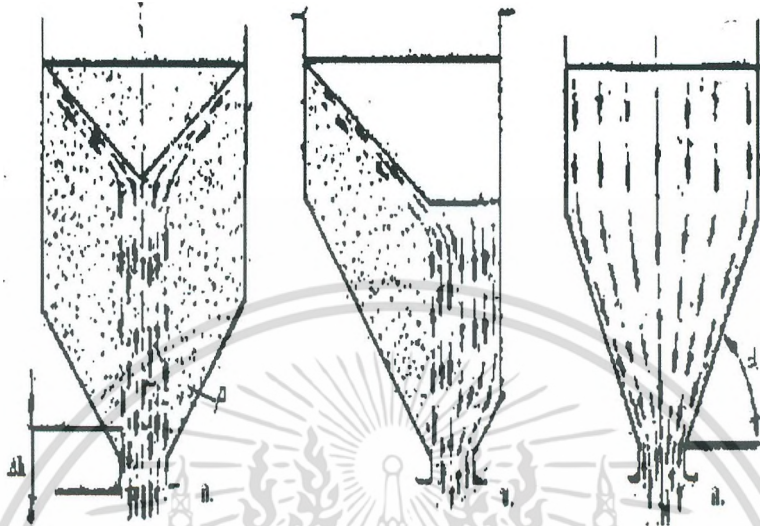


ภาพที่ 2.15 กลไกแบบเฟืองวงดาว (Scheufler et al., 1999)

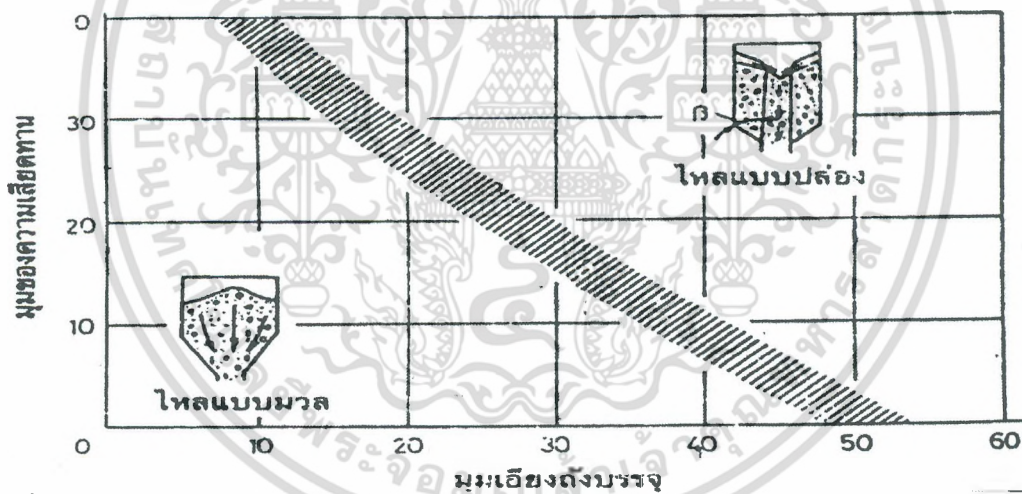
## 2.8 หลักการออกแบบถังบรรจุ (Hopper)

Hopper คือ อุปกรณ์ที่ให้การไหลของวัสดุเม็ดผ่านช่องเปิด มีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการไหลของวัสดุ เช่น การไหลออกของปุ๋ยจากถังอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งการคำนวณการไหลออกของปุ๋ยนี้ไม่สามารถใช้ทฤษฎีการไหลของของเหลวมาใช้ในการคำนวณได้ โดย ปานมนัส (2538) ได้กล่าวว่า เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุแบบเม็ดมีความแตกต่างจากของเหลว (ภาพที่ 2.16) แสดงลักษณะการไหล ของวัสดุเม็ดออกจากถังเมื่อมุมเอียงของถังที่ทำกับแนวราบ ( $\alpha$ ) มีค่าน้อยกว่าลักษณะการไหลเป็นแบบ ปล่อง (funnel flow) (ภาพที่ 2.16 ก.) โดยวัสดุไหลเป็นแนวเหนือช่องเปิดขึ้นการไหลของมวลวัสดุ ทั้งหมด (mass flow) จะไหลลงสู่ช่องเปิด (ภาพที่ 2.16 ค.) และ (ภาพที่ 2.16 ข.) แสดงการไหลของวัสดุที่มีการไหลของวัสดุทั้ง 2 แบบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

คือการไหลแบบปล่องและการไหลแบบมวลของวัสดุทั้งหมด ซึ่งรูปแบบ การไหลของวัสดุขึ้นอยู่กับความเอียงของถังบรรจุและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุ (ภาพที่ 2.17) ได้แสดงลักษณะการไหลของวัสดุ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเสียดทานของวัสดุกับผนังและมุมเอียงของ ถังบรรจุ



ภาพที่ 2.16 การไหลของวัสดุเม็ดออกจากถัง (ปานมนัส, 2538)



ภาพที่ 2.17 การไหลกับความเสียดทานของวัสดุกับผนังและมุมเอียงของถังบรรจุ (ปานมนัส, 2538)

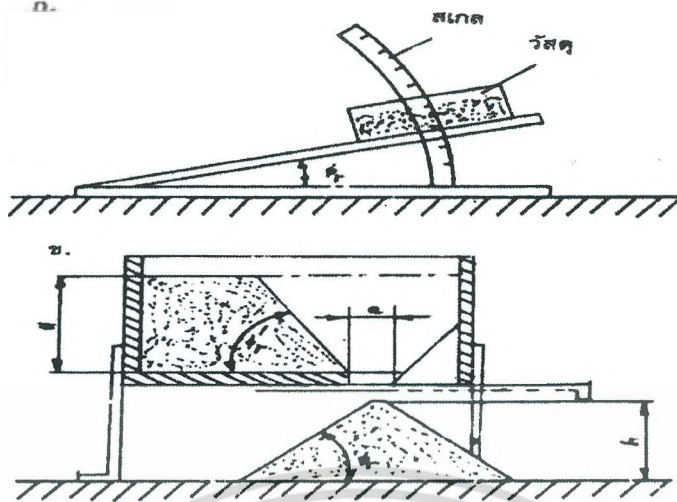
สมบัติความเสียดทานที่สำคัญของวัสดุเม็ดที่กองรวมกัน เช่น เม็ดปุ๋ย ได้แก่ มุมของความเสียดทานและมุมกองพื้นมุมของความเสียดทาน หมายถึง มุมของความเสียดทานที่เกิดจากผลของความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุโดยที่  $f = \tan\theta$  ซึ่ง

$f$  = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

$\theta$  = มุมของความเสียดทาน

ใช้สำหรับหาค่ามุมกองพื้นสถิตของวัสดุ (static angle of repose) โดยนำวัสดุวางบนพื้นเอียงแล้วค่อยๆ ยกแผ่นเอียงขึ้นจนกระทั่งวัสดุเริ่มไหลมุมของแผ่นเอียง คือ มุมกองพื้นวัสดุ (ปานมนัส, 2538)

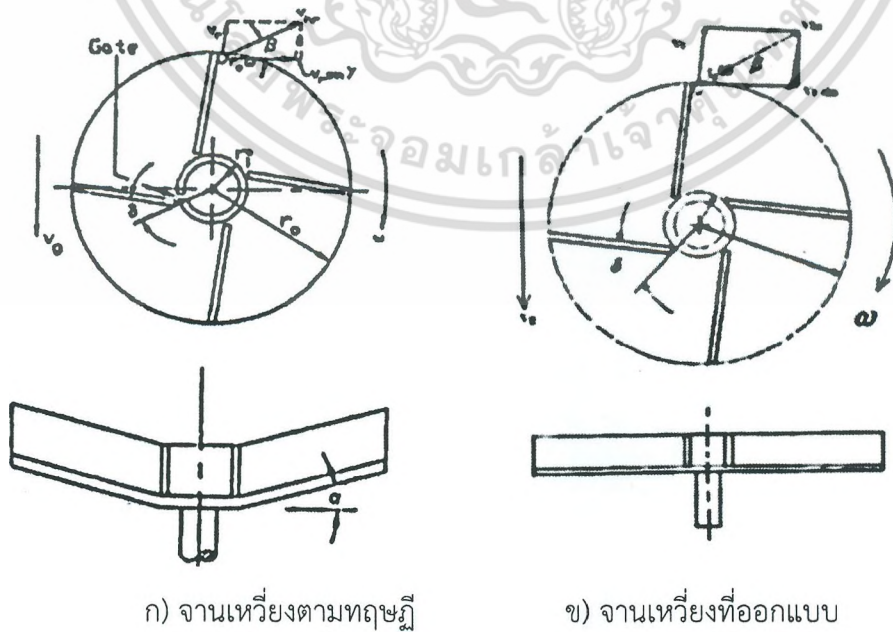
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.18 อุปกรณ์สำหรับหามุมของวัสดุ (ปานมนัส, 2538)

2.9 ทฤษฎีงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

งานเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นการลำเลียงเม็ดปุ๋ยลงสู่พื้น โดยที่เม็ดปุ๋ยจะถูกลำเลียงผ่านชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย และตกลงมาตามรางกระทบกับครีบบีพัดของงานเหวี่ยงที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูงซึ่งมีความเร็วเชิงมุมมากทำให้เม็ดปุ๋ยเคลื่อนที่จากศูนย์กลางจนไปสู่ปลายขอบงานเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลางก่อน เคลื่อนที่ด้วยความเร็วทางตรงเท่ากับความเร็วของขอบงาน ( $v = \omega r$ ) แล้วจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วก่อน จะร่วงลงสู่พื้นทฤษฎีนี้ (ภาพที่ 2.19) ถูกใช้ประโยชน์ในการลำเลียงปุ๋ย เมื่อเม็ดปุ๋ยตกผ่านรางลงสู่จานเหวี่ยงที่กำลังหมุน สำหรับสมการการเคลื่อนที่ของปุ๋ยบนงานเหวี่ยง หาได้จากปุ๋ยสั้นไกลระหว่างจาน และพื้นผิวของครีบบีพัด ก่อนจะเคลื่อนที่ออกจากชุดงานเหวี่ยงแล้วร่วงลงสู่พื้น เป็นระยะทาง เชิงมุมที่งานเหวี่ยงหมุนไปโดยนับตั้งแต่ปุ๋ยร่วงจากจุดปล่อย ( $r_i$ ) จนวิ่งออกจากปลายครีบบนงาน ( $r_o$ ) หาได้จากสมการต่อไปนี้ (Srivastava, 2006)



ก) งานเหวี่ยงตามทฤษฎี

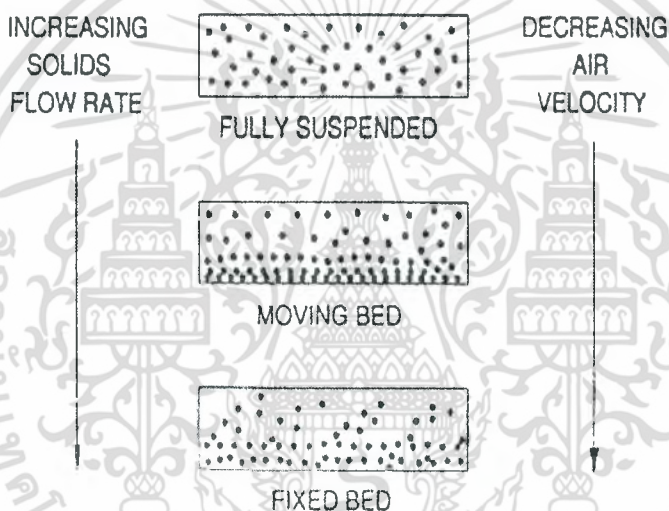
ข) งานเหวี่ยงที่ออกแบบ

ภาพที่ 2.19 ด้านข้างของงานเหวี่ยง (Srivastava, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

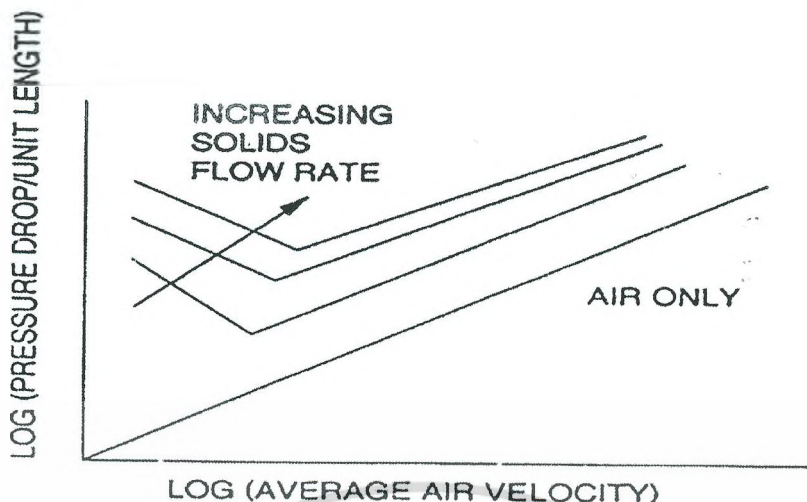
## 2.10 หลักการลำเลียงวัสดุด้วยลม (Pneumatic Conveyor)

เมื่ออนุภาคถูกปล่อยเข้าสู่กระแสอากาศที่ไหลอยู่ในท่ออนุภาคจะถูกดูดด้วยกระแสอากาศตาม หลักอากาศพลศาสตร์ ถ้าความเร็วอากาศมีมากอนุภาคจะมีความเร่ง และแรงดูดจะลดลงเนื่องจาก ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอากาศและอนุภาคมีค่าลดลง เมื่ออนุภาคถูกลำเลียงแรงดูดจะชนะแรงโน้มถ่วง อนุภาคจะเกิดการชนกันเอง และบางอนุภาคจะชนกับผนังท่อเมื่อปริมาณของอนุภาคในท่อเพิ่มขึ้นจะ ส่งผลให้อัตราการลำเลียงสูงขึ้นและแรงต้านทานที่กระทำกับกระแสอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าอัตราการ ลำเลียงมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสุดท้ายก็จะมาถึงจุดที่อนุภาคไม่ประพฤติตัวเหมือนเดิมคืออนุภาคจะ จับกันเป็นก้อนและอุดกั้นขัดขวางการไหล ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบแขวนลอยอย่างคงรูป (Uniform Suspension) มีชื่อเรียกว่า Dilute Phase และลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Dense Phase จะเกิดขึ้นเมื่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีการจับกันเป็นก้อนการลำเลียงวัสดุจะเกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ Dilute Phase และบางทีก็เรียกว่า Lean Phase (ภาพที่ 2.20)



ภาพที่ 2.20 การเคลื่อนที่ของอนุภาค (Srivastava, 1993)

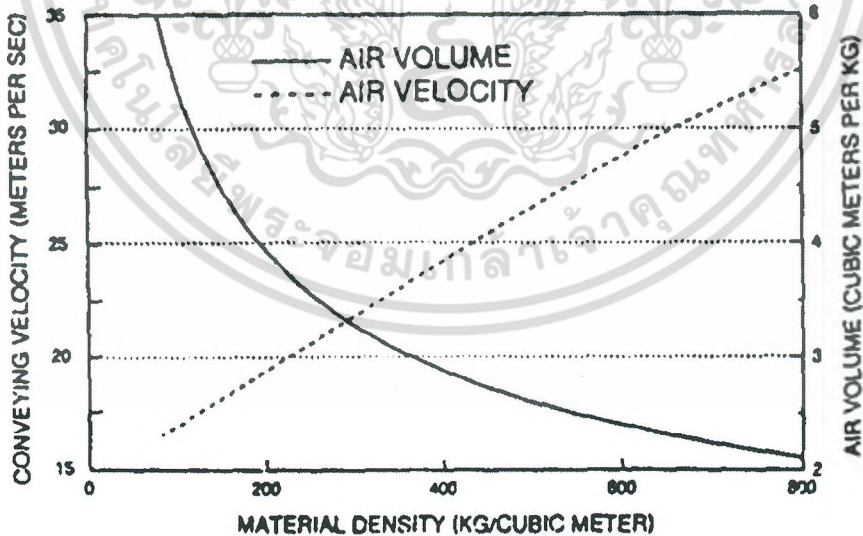
ความดันสูญเสีย (Pressure drop) ต่อหน่วยความยาวเปรียบเทียบกับความเร็วของกระแส อากาศเมื่อวัสดุมีอัตราการไหลเชิงมวลต่างกันในส่วนเริ่มต้นของกราฟ ค่าความดันสูญเสียมีการลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วของกระแสอากาศเมื่อเพิ่มความเร็วถึงค่าหนึ่ง ค่าความดันสูญเสียก็มีค่าเพิ่มขึ้นตาม ความเร็ว จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวที่ปรากฏอยู่ในกราฟ คือจุดที่แยก Dense Phase และ Dilute Phase จากกัน โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคต่ออัตราการไหล เชิงมวลของอากาศ โดยทั่วไป (อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาค/อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ) ที่มีค่าน้อยกว่า 15 จะส่งผลให้รูปแบบการไหลเป็น Dilute Phase จุดต่ำสุดในกราฟแสดงความเร็ว ต่ำสุดที่จะทำให้เกิดการไหลแบบ Dilute Phase ในอัตราการไหลเชิงมวลต่างๆ (ภาพที่ 2.21)



ภาพที่ 2.21 ความดันสูญเสียเปรียบเทียบกับความเร็วของกระแสอากาศ (Srivastava, 1993)

การออกแบบการลำเลียงโดยใช้ลม จะต้องทราบความเร็วของอากาศที่ใช้ลำเลียง ปริมาตรอากาศ ในการลำเลียง ผลรวม Pressure drop และกำลังในการขับ blower ความเร็วของอากาศที่ใช้ในการ ลำเลียง ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นของอนุภาคที่จะทำการลำเลียง ปริมาตรอากาศที่ใช้ ขึ้นอยู่กับ อัตราการไหลเชิงมวลที่จะทำให้เกิดการลำเลียงแบบ Dilute Phase และ Pressure drop ในการลำเลียง หาได้จากผลรวมหลายๆ เทอม ดังสมการ

$$\Delta p = \Delta p_L + \Delta p_a + \Delta p_s + \Delta p_g + \Delta p_b + \Delta p_c \tag{2.1}$$



ภาพที่ 2.22 แสดงผลเฉลี่ยอัตราเร็วและปริมาณลมที่ความดันต่ำในระบบขนถ่ายด้วยลมของวัสดุ (Srivastava, 1993)

โดยที่

$\Delta p$  = ผลรวมของ Pressure drop (Pa)  
 $p_L$  = เส้นทาง Pressure Loss ของอากาศ (Pa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta p_a$	=	Pressure drop ความแรงต่ออนุภาค (Pa)
$\Delta p_s$	=	Pressure drop ความเสียดทานของอนุภาค (Pa)
$\Delta p_g$	=	Pressure drop แรงยกในแนวตั้ง (Pa)
$\Delta p_b$	=	Pressure drop ข้องอในระบบท่อ (Pa)
$\Delta p_c$	=	Pressure drop ในระบบต่างๆ (Pa)

ตารางที่ 2.8 ค่า Fitting loss coefficient for turbulent flow (Noyes, 1972)

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

K = สัมประสิทธิ์ Fitting loss

ตารางที่ 2.9 ค่า Pressure drop for pneumatic conveying accessories (Noyes et al., 1985)

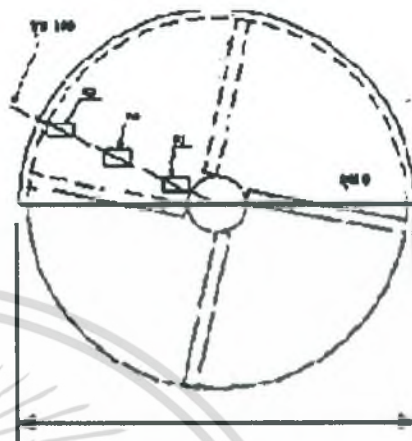
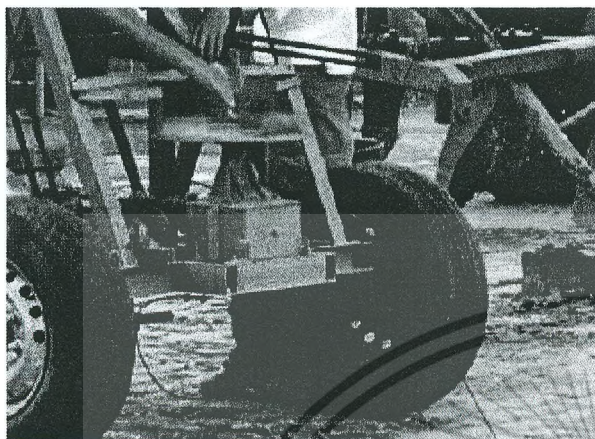
Accessory	Pressure drop (kPa)
Blower suction	0.7
Inlet filter	0.7
Inlet filter and muffler	1.4
Outlet muffler	1.4
Discharge cyclone	0.7
Bin vent	1.4
In-line filter	1.4

## 2.11 การพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ย

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่สูงเพื่อประสิทธิภาพของผลผลิต ดังนั้น การจัดการธาตุอาหารสำหรับสวนปาล์มน้ำมันจึงถือเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องตระหนัก ซึ่งหากมีการจัดการที่ดีแล้ว นอกจากจะทำให้ต้นปาล์มน้ำมันได้รับธาตุอาหารที่เหมาะสม ก็จะทำให้ไม่สูญเสียค่าใช้จ่าย เรื่องปุ๋ยเกินความจำเป็นอีกด้วย ซึ่งได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยในอดีต ดังนี้

อภิชาติและคณะ (2548) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยแบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ลักษณะ เป็นแผ่นจานกลม มีครีบบกระจายปุ๋ย จำนวน 4 ครีบ ทำงานต่อฟ่วงรถแทรกเตอร์ ทดกำลังจากเพลลา พีทีโอโดยทำงานที่ความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที เหนือจานเหวี่ยงติดตั้งรางเอียงที่สามารถปรับจุดปล่อย ปุ๋ยให้ขยับไป ยังตำแหน่งต่างๆ เหนือจานเหวี่ยงได้ (ภาพที่ 2.23) พบว่า สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของ R1 ดีที่สุด เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 6.5 cm ที่มุมเท่ากับ 150° เป็นจุด ปล่อยเม็ดปุ๋ยลงสู่ จานเหวี่ยง ได้หน้ากว้างการหว่านที่ 18 เมตร ความไกลการส่งที่ 15 เมตร และจะได้ สัมประสิทธิ์การ ไม่ว่การณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายตัว (CU %) เท่ากับ 59.14 % ปัญหาที่พบ คือ ระยะการเหวี่ยงของปุ๋ยที่มี ลักษณะทางกายภาพ เป็นเกร็ดหรือผงยังไม่เพียงพอ และการไหลของปุ๋ยคือเซอร์โรท์ผสมกับบอแรกซ์จาก ชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย Metering device ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากความชื้น

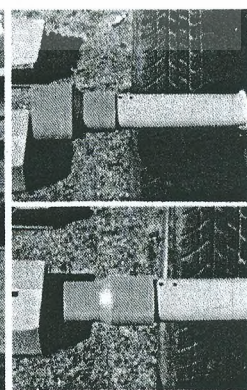
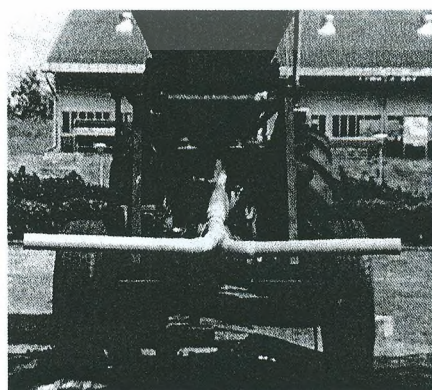


ก) รูปแบบกลไกงานเหวี่ยงหินปูน

ข) แสดงระยะจากจุดศูนย์กลาง

ภาพที่ 2.23 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบงานเหวี่ยงหินปูน (อภิชาติ และคณะ, 2548)

มงคล และคณะ (2549) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยแบบระบบลม โดยอาศัยอากาศความเร็วสูง เป็นตัวกลางลำเลียงปุ๋ยจนสามารถเคลื่อนที่ฝ่าอากาศเพื่อตกไปพื้นที่เป้าหมายในการหว่านปุ๋ย โบลเวอร์ถูกขับเคลื่อนด้วยเพลาทรีโอ โดยผ่านเกียร์ทดเพื่อเพิ่มรอบทำความเร็วให้สามารถขับเคลื่อนโบลเวอร์ที่ 2900 รอบต่อนาที โดยเม็ดปุ๋ยจะถูกลำเลียงผ่านท่อลำเลียงด้วยลม และแยกออกเป็นสองท่อโดยสามารถปรับรูปแบบการวางแนวของท่อแยก และติดตั้งปากพ่นลักษณะต่างๆ ที่ปลายท่อแยกทั้งสองได้ (ภาพที่ 2.24) ผลการศึกษาพบว่า ปากพ่นปุ๋ยแบบขนาดท่อตรงและมุม  $\theta$  ของท่อแยกที่  $30^\circ$  คือค่าที่เหมาะสมที่สุดในการหว่านปุ๋ยด้วยระบบลม ลักษณะการกระจายตัวของปุ๋ยแยกแต่ละชนิด ปุ๋ยเม็ดมีการกระจายตัวไกลกว่า (Urea และ DAP มากกว่าข้างละ 8 เมตร KCl ข้างละ 6 เมตร Mg+Bo ข้างละ 4-5 เมตร) และความสม่ำเสมอดีกว่าเมื่อเทียบกับปุ๋ยผง (CU Urea= 21.5%, CU DAP= 17.5%, CU KCl= 13.1% และ CU Mg+Bo= 33.3%) ปัญหาที่พบ ปุ๋ยไม่ผสมกันเท่าที่ควร ปริมาณปุ๋ยที่ออกจากท่อ 2 ด้านไม่เท่ากัน และเมื่อปุ๋ยเกิดความชื้นอาจทำให้ท่อเกิดการอุดตัน



ก) แสดงมุมการปรับ  $\theta$  ของท่อ

ข) แสดงขนาดของปากพ่นปุ๋ยแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาดูงานเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ภาพที่ 2.24 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบงานเหวี่ยงหินปูน (มงคล และคณะ, 2549)

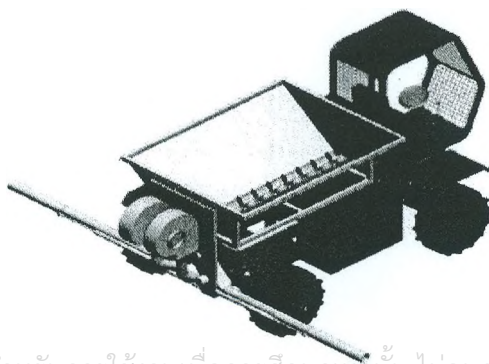
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อดิศักดิ์ และอนุชา (2551) ได้พัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยระบบลมและงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง งานเหวี่ยงทำงานที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที โดยติดตั้งจุดปล่อยปุ๋ยที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ที่ 150 องศา ในทิศตามเข็มนาฬิกา ระบบลมลำเลียงติดตั้ง Blower ขนาด 5 แรงม้า ทำงานที่ความเร็วรอบ 2900 รอบต่อนาที จ่ายลมเข้าสู่ท่อหลักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ผ่านท่อแยก 45 องศา เข้าสู่ท่อย่อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ที่วางเอียงขึ้น 30 องศา (ภาพที่ 2.25) พบว่าการหว่านปุ๋ย Urea ด้วยงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะได้สัมประสิทธิ์การกระจายตัว 22% และหน้ากว้างการหว่าน 15 เมตร ส่วนการใช้ระบบลมเพื่อพ่นปุ๋ย DAP, KCL และ Mg+Bo จะได้ สัมประสิทธิ์การกระจายตัว และหน้ากว้างการหว่านคือ 86% กับ 18 เมตร, 86% กับ 18 เมตร และ 94% กับ 18 เมตรตามลำดับ ปัญหาที่พบ การกระจายตัวของปุ๋ยผงจะกระจายออกเฉพาะด้านข้าง เมื่อ ปุ๋ยเกิดความชื้นอาจทำให้เกิดการอุดตันที่ชุด Metering และปุ๋ยเกิดการจับตัวกันเป็นกองที่รางเอียง เมื่อเกิดความชื้น



ภาพที่ 2.25 เครื่องหว่านปุ๋ยแบบใช้ลมและงานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (อดิศักดิ์ และอนุชา, 2551)

Ishola et al., (2011) ศึกษาแนวคิดใหม่และเทคโนโลยีตัวแปรอัตราการจ่ายปุ๋ยปาล์มน้ำมัน โดยการใช้โปรแกรม Solid work ระบบจะประกอบด้วย ลินแบบโรตารี พัดลม โบลเวอร์ สกรูลำเลียง และถังปุ๋ย ซึ่งหลักการจะใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ในการวางแผนเงื่อนไขของระบบ GPS โดยการวางแผนเงื่อนไข จะบ่งชี้ที่ความต้องการปุ๋ยจากแผนที่สวนปาล์มน้ำมัน แผนที่ดิน ระดับความต้องการธาตุอาหารของพืช ซึ่งพิกัดตำแหน่งบ่งบอกโดยอุปกรณ์ GPS และจะคำนวณอัตราการใช้ปุ๋ย (จากข้อมูลที่ถูกรับบันทึกไว้แต่ละ จุดบนพื้นที่สวน) แปรข้อมูลส่งไปสั่งการทำงานของวาล์ว (ภาพที่ 2.26) ผลที่ได้ คือ ต้องเปิดวาล์วโรตารี 2.13 kg/s ใช้กำลังโบลเวอร์ 3.27 kW และอัตราการจ่ายของสกรูลำเลียง 11.7 kg/s และถังมีความจุ 1.2 ตัน ซึ่งสามารถลดปัญหาการให้ปุ๋ยเกินความต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ภาพที่ 2.26 แบบเครื่องให้ปุ๋ยระบบ VRT,บนรถ 4WD (Ishola et al., 2011)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบการพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

การพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ย สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน	ผลการหว่านปุ๋ย	ปัญหาที่พบ
อภิชาติ และคณะ (2548)	ความกว้างที่ 18 เมตร ความไกล การส่งที่ 15 เมตร และจะมี สัมประสิทธิ์การกระจายตัว CU % เท่ากับ 59.14 %	ระยะเวลาเหวี่ยงของปุ๋ยเกร็ด หรือ ผงยังไม่เพียงพอ และการ ไหลของซีเซอร์ไรท์ผสมกับ บอแรกซ์จาก Metering device ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากความชื้น
มงคล และคณะ (2549)	Urea และ DAP มากกว่าข้างละ 8 เมตร KCl ข้างละ 6 เมตร Mg+Bo ข้างละ 4-5 เมตร และ ความสม่ำเสมอดีกว่าเมื่อเทียบกับ ปุ๋ยผง (CU Urea= 21.5%, CU DAP= 17.5%, CU KCl= -13.1% และ CU Mg+Bo= -33.3%	ปุ๋ยไม่ผสมกันเท่าที่ควร ปริมาณ ปุ๋ยที่ออกจากท่อ 2 ด้านไม่เท่ากัน และเมื่อปุ๋ยเกิดความชื้นอาจทำให้ ท่อเกิดการอุดตัน
อดิศักดิ์ และอนุชา (2551)	ปุ๋ย Urea จะได้สัมประสิทธิ์การ กระจายตัว 22% และหน้ากว้าง การหว่าน 15 เมตร ปุ๋ย DAP, KCl, Mg+Bo จะได้สัมประสิทธิ์ การกระจายตัว และหน้ากว้าง การหว่าน 86% กับ 18 เมตร, 86% กับ 18 เมตร และ 94% กับ 18 เมตรตามลำดับ	การกระจายตัวของปุ๋ยผงจะ กระจายออกเฉพาะด้านข้าง เมื่อ ปุ๋ยเกิดความชื้นอาจทำให้ท่อเกิด การอุดตันที่ชุด Metering และ ปุ๋ยเกิดการจับตัวกันเป็นกองที่ราง เอียงเมื่อเกิดความชื้น
Ishola et al. (2011)	สามารถให้ปุ๋ยตรงตามปริมาณที่ ต้องการในแต่ละจุด	การใช้ระบบ GPS ใน สวนปาล์มน้ำมันยังไม่ความ เหมาะสมมากนัก เนื่องจากมีทาง ใบปาล์มน้ำมันเป็นสิ่งกีดขวางการ ระบุพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

### 3.1 การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย

เครื่องหว่านปุ๋ยถูกออกแบบมาให้ใช้ในการหว่านปุ๋ยเชิงเดี่ยว 4 ชนิด ให้กับต้นปาล์มน้ำมันโตอายุ ตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไปโดยปุ๋ย 4 ชนิดคือ ยูเรีย, โดแอมโมเนียมฟอสเฟต, โพแทสเซียมคลอไรด์ และคีเซอโรไรท์ ถูกแบ่งบรรจุลงในถังบรรจุปุ๋ย 4 ถัง ซึ่งถูกแยกออกจากกันโดยปริมาณปุ๋ยสามารถกำหนดให้มากหรือน้อย ได้โดยการปรับขนาดช่องเปิด (Orifice) อยู่เหนือชุดกำหนดปริมาณการจ่ายปุ๋ย (Metering Device) หลังจากนั้นจะถูกปล่อยลงบนชุดหว่าน 2 แบบคือ ชุดหว่านแบบจานเหวี่ยงซึ่งใช้สำหรับหว่านปุ๋ยยูเรีย, โดแอมโมเนียมฟอสเฟต และคีเซอโรไรท์ แบบที่สองคือระบบลำเลียงด้วยลมซึ่งเป็นการส่งปุ๋ย โพแทสเซียมคลอไรด์ ลงมายังชุดท่อลมเพื่อพ่นกระจายออกไปสองด้านของท่อลม เพื่อหว่านกระจายปุ๋ย ให้ครอบคลุม หน้ากว้างการหว่าน 15.6 เมตร สำหรับต้นปาล์ม 2 แถว

### 3.2 การหาสมบัติทางกายภาพของปุ๋ย

ปุ๋ยเคมีเชิงเดี่ยวทั้ง 4 ชนิดคือ ยูเรีย, โดแอมโมเนียมฟอสเฟต, โพแทสเซียมคลอไรด์ และคีเซอโรไรท์ ซึ่งปัจจุบันมีขายมากมายในท้องตลาด ซึ่งแต่ละปุ๋ยต่างก็มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ทั้งชนิดผง เม็ดกลม และเกร็ด จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ปุ๋ยที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลม หรือเกร็ด จะสามารถ ให้ผลการทดลองที่ค่อนข้างดีกว่าชนิดผง ดังนั้นสำหรับการศึกษาในที่นี่จึงเลือกใช้ปุ๋ยแต่ละชนิดที่มี ลักษณะเป็น เม็ดกลม หรือเกร็ดมาใช้ในการทดลองดังนี้

#### 3.2.1 การหาค่ามุมลื่นไถลของเม็ดปุ๋ย

การหาค่ามุมลื่นไถลของเม็ดปุ๋ย (ภาพที่ 3.1) ค่าที่ได้นำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบจานเหวี่ยง และรางเอียงของปุ๋ยต่อไปดังตารางที่ 2.7

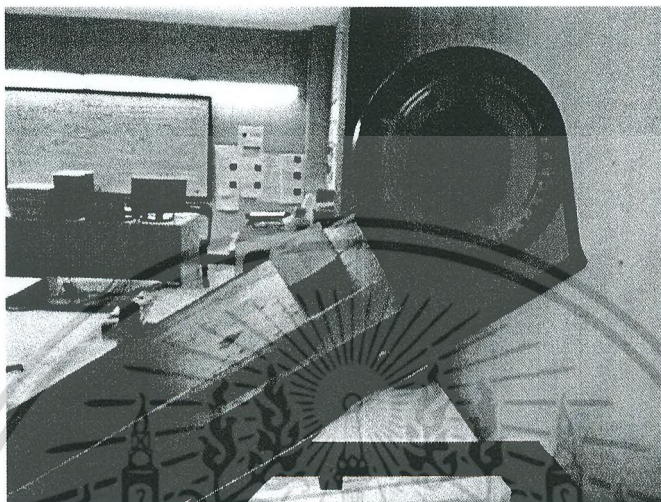
##### 3.2.1.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องทดสอบหามุมของวัสดุ
- 2) แผ่นวัสดุ (เหล็ก) ธรรมดาและทาสี
- 3) ปุ๋ยเชิงเดี่ยวทั้ง 4 ชนิดคือ ยูเรีย, โดแอมโมเนียมฟอสเฟต, โพแทสเซียมคลอไรด์ และคีเซอโรไรท์

##### 3.2.1.2 วิธีการ

- 1) ทำการปรับตั้งให้ตำแหน่งแผ่นทดสอบอยู่ที่ศูนย์องศา
- 2) นำปุ๋ยวางกองลงบนแผ่นวัสดุทดสอบเริ่มต้นที่ศูนย์องศา ซึ่งในที่นี่เลือกใช้เหล็กแผ่นทาสีและธรรมดาไม่ทาสี จากนั้นค่อยๆ ปรับองศาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเม็ดปุ๋ยเริ่มมีการลื่นไถล
- 3) จากนั้นให้อ่านค่ามุมองศาที่เปลี่ยนไป ณ ขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการทดสอบค่ามอดูลัสของเม็ดปีย

### 3.2.2 การหาค่าความหนาแน่นของปีย

การหาค่าความหนาแน่นของปียภายในภาชนะ (ภาพที่ 3.2 ก) ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบถึงบรรจุต่อไปดังตารางที่ 2.7

#### 3.2.2.1 อุปกรณ์

- 1) ปีกเกอร์ ขนาด 250 ml
- 2) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น FR-H Series

#### 3.2.2.2 วิธีการ

- 1) ทำการตักปียใส่ในปีกเกอร์ให้ถึงตำแหน่ง 250 ml
- 2) ทำการชั่งน้ำหนักของปียทั้งหมดในปีกเกอร์
- 3) นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการหาความหนาแน่น

การหาความหนาแน่นของอนุภาคปีย (ภาพที่ 3.2 ข) ซึ่งจำเป็นจะต้องรู้ค่าเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบและคำนวณเกี่ยวกับการปล่อยปียลงบนจานเหวี่ยง

#### 3.2.2.3 อุปกรณ์

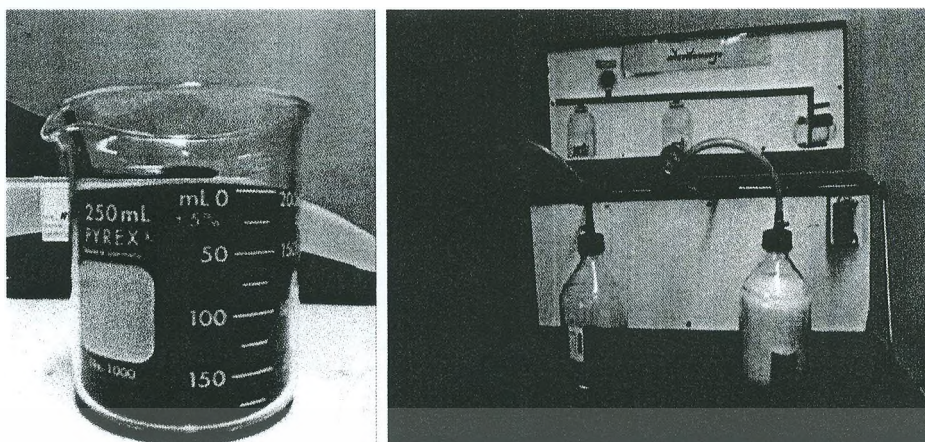
- 1) เครื่องทดสอบความพรุน

#### 3.2.2.4 วิธีการ

- 1) นำปียใส่เข้าไปในขวดที่ 2 และทำการดูดอากาศออกจนระบบเป็นสุญญากาศ
- 2) ปิดวาล์วตัวที่ 2 และ 3
- 3) เปิดวาล์วตัวที่ 1 ให้อากาศเข้า เมื่อได้ความดันที่เหมาะสมปิดวาล์วตัวที่ 1 และ

อ่านค่าความดัน  $P_1$  ที่ได้จากเกจวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์วิจัยโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) การทดสอบหาความหนาแน่นปุ๋ยในภาชนะ ข) การทดสอบหาความหนาแน่นของอนุภาคปุ๋ย  
ภาพที่ 3.2 การทดสอบหาความหนาแน่นของปุ๋ย

### 3.2.3 การหาค่าขนาดของเม็ดปุ๋ย

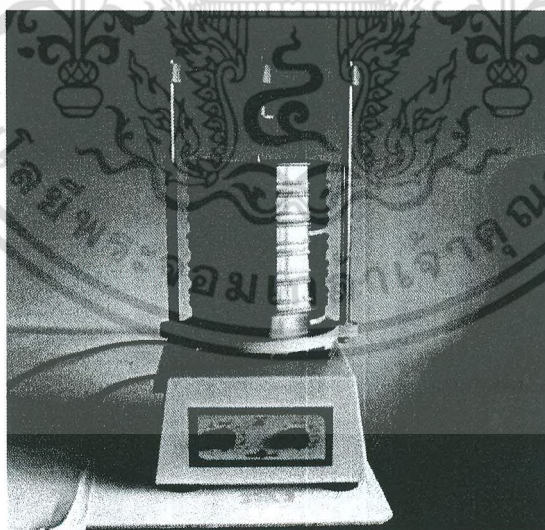
เป็นการหาขนาดของเม็ดปุ๋ย (ภาพที่ 3.3) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบ และคำนวณงานเหวี่ยง ดังตารางที่ 2.7

#### 3.2.3.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องคัดขนาดชนิดสั่นสะเทือน

#### 3.2.3.2 วิธีการ

- 1) นำปุ๋ยที่ต้องการทดสอบมาใส่ในตะแกรงชั้นบนสุด ใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาที
- 2) ดูเม็ดปุ๋ยว่าอยู่ในตะแกรงขนาดช่องเท่าไร และบันทึกผล



ภาพที่ 3.3 เครื่องทดสอบคัดขนาดชนิดสั่นสะเทือน

## 3.3 การทดสอบหาเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิด ต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

ในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย ซึ่งจะต้องทำงานในสภาวะต่างๆ ที่ยากจะควบคุม เช่น ลม อากาศ เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จำเป็นจะต้องมีการศึกษาเพื่อทำการทดลองในห้องทดลอง เพื่อตัดตัวแปรที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อน และจะนำไปเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการออกแบบต่อไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของ Metering Device กับระยะช่องเปิด ซึ่งมีผลกับปริมาณการปล่อยปุ๋ย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในออกแบบการกำหนดเงื่อนไขการทำงานเริ่มต้นที่เหมาะสมในเรื่องความเร็วรอบของชุด Metering Device แบบครีบบหมุน ซึ่งแปรผันตามความเร็วการเคลื่อนที่ของรถ โดยเหนือชุด Metering Device จะติดตั้งช่องเปิดแบบปรับได้เพื่อควบคุมอัตราการจ่ายปุ๋ยให้แม่นยำมากขึ้น โดยสามารถปรับขนาดช่องเปิดตั้งแต่ 1-11 ซม. และจะทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ ของชุดครีบบหมุน (Metering Device) ที่ 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 และ 120 รอบต่อนาที

#### 3.3.1.1 อุปกรณ์

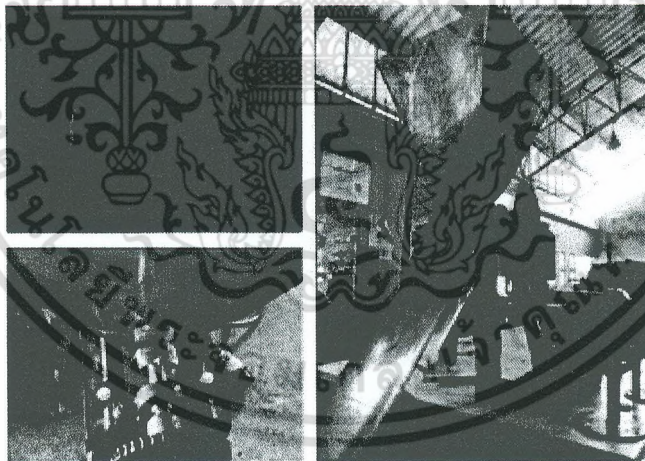
- 1) Inverter รุ่น IPM AS4-315
- 2) ปุ๋ยเชิงเดี่ยวทั้ง 4 ชนิดคือ ยูเรีย, ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต, โพแทสเซียมคลอไรด์

และคีเซอโรไรท์

- 3) นาฬิกาจับเวลา

#### 3.3.1.2 วิธีการ

- 1) นำปุ๋ยที่ต้องการทดสอบใส่ลงในถัง Hopper
- 2) ปรับช่องเปิดเพิ่มขึ้นทีละ 1 ซม. โดยเริ่มจาก 1 ซม. จนถึง 11 ซม.
- 3) ปรับ Inverter เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่ 50 รอบต่อนาที พร้อมกับจับเวลาทุกๆ 30 วินาที 3 ซ้ำ
- 4) ชั่งน้ำหนักปริมาณปุ๋ย แล้วบันทึกผล
- 5) ทำซ้ำข้อ 3-4 เพื่อปรับ Inverter ให้ได้ความเร็วรอบ 50-120 รอบต่อนาที



ภาพที่ 3.4 ชุดทดสอบการกำหนดปริมาณปุ๋ย Metering Device

#### 3.3.2 การทดสอบกลไกการหว่านแบบจานเหวี่ยง

เพื่อหาตำแหน่งของจุดปล่อยปุ๋ยที่เหมาะสม (มุม  $\theta$  เริ่มต้นในการปล่อยปุ๋ย) สำหรับหว่านปุ๋ยแต่ละชนิด และผลของปริมาณการปล่อยปุ๋ย (อัตราการจ่ายปุ๋ย) ลงบนจานเหวี่ยงที่แตกต่างกันว่ามียุทธพลต่อตำแหน่งการตกของปุ๋ยบนพื้นอย่างไร โดยพิจารณาหน้ากว้างการหว่าน และประสิทธิภาพการกระจายตัวของปุ๋ยด้วย

##### 3.3.2.1 อุปกรณ์

- 1) ชุดทดสอบกลไกจานเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- 2) กรวยกำหนดอัตราการจ่ายปุ๋ย 3 ขนาดคือ 4.25 kg/min, 9.19 kg/min และ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.31 kg/min (ภาพที่ 3.5)

- 3) กล้องเก็บผลการทดลอง (ขนาด 32 x 24 x 10 cm)
- 4) เครื่องชั่ง 60 kg รุ่น UWE
- 5) แก้วสำหรับเก็บผลการทดลอง
- 6) ปู่เชิงเดี่ยว 3 ชนิดคือ ยูเรีย, ไตแอมโมเนียมฟอสเฟต และคีเซอโรไรท์
- 7) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น FR-H Series

### 3.3.2.2 วิธีการ

ทำการวางกล้องเก็บผลการทดลองทุกๆ 1 ตารางเมตร ซึ่งในที่นี้จะใช้พื้นที่ทำการหว่านทั้งหมดยาว 20 เมตร และกว้าง 5 เมตร ซึ่งจะใช้กล้องทั้งหมด 100 กล้อง จากนั้นทำการกำหนดปริมาณปุ๋ยตามชุดกรวยแต่ละขนาด เมื่อทำการหว่านปุ๋ยแล้วให้ทำการเก็บผลการทดลองแล้วนำไปชั่งน้ำหนักปุ๋ยที่อยู่ในกล้องทุกๆ กล้องแล้วบันทึกผล ทำเช่นเดียวกันกับปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) ปล่อยปุ๋ยด้วยกรวยขนาดใหญ่ (อัตราการจ่ายปุ๋ยสูงสุด) ปรับมุมปล่อยปุ๋ยจาก 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 องศา ดังแสดงในภาพที่ 3.7

2) ปล่อยปุ๋ยด้วยกรวยขนาดกลาง (อัตราการจ่ายปุ๋ยขนาดกลาง) และขนาดเล็ก (อัตราการจ่ายปุ๋ยขนาดเล็ก) ปรับมุม 3 ระดับ คือ 50, 70 และ 90 องศา ดังแสดงในภาพที่ 3.8

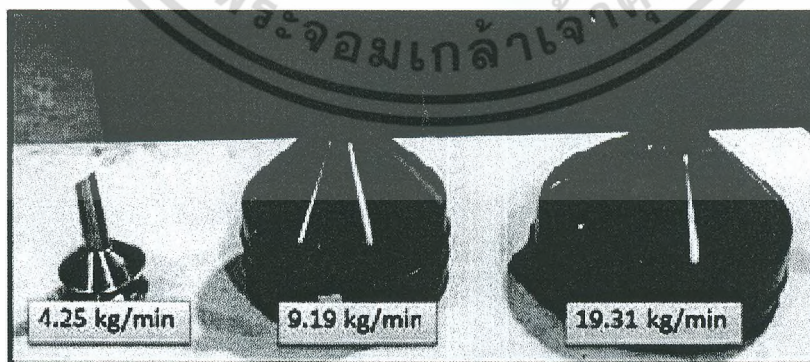
3) ปล่อยปุ๋ยด้วยกรวยขนาดกลาง 2 กรวย (ภาพที่ 3.8) โดยปรับมุมเริ่มต้น และมุมระหว่างกรวยดังนี้

3.1) มุมระหว่างกรวย 70 องศา และมุมเริ่มต้น (ในการปล่อยปุ๋ย) ของกรวยอันแรกที 50, 70 และ 90 องศา

3.2) มุมระหว่างกรวย 80 องศา และมุมเริ่มต้น (ในการปล่อยปุ๋ย) ของกรวยอันแรกที 50, 70 และ 90 องศา

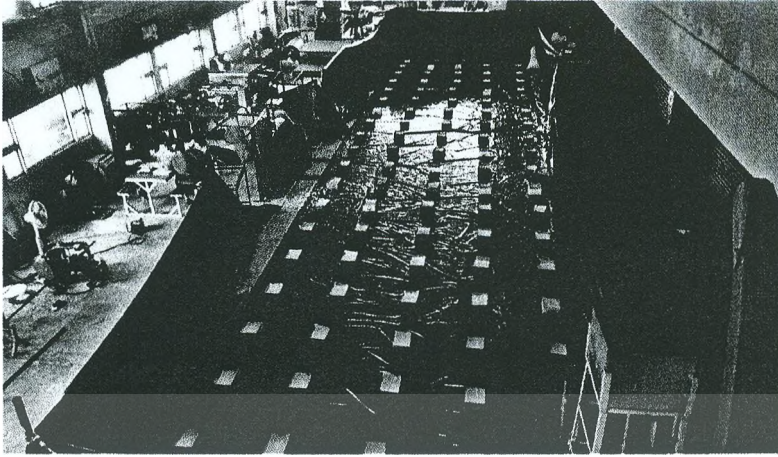
3.3) มุมระหว่างกรวย 90 องศา และมุมเริ่มต้น (ในการปล่อยปุ๋ย) ของกรวยอันแรกที 50, 70 และ 90 องศา

3.4) มุมระหว่างกรวย 100 องศา และมุมเริ่มต้น (ในการปล่อยปุ๋ย) ของกรวยอันแรกที 50, 70 และ 90 องศา

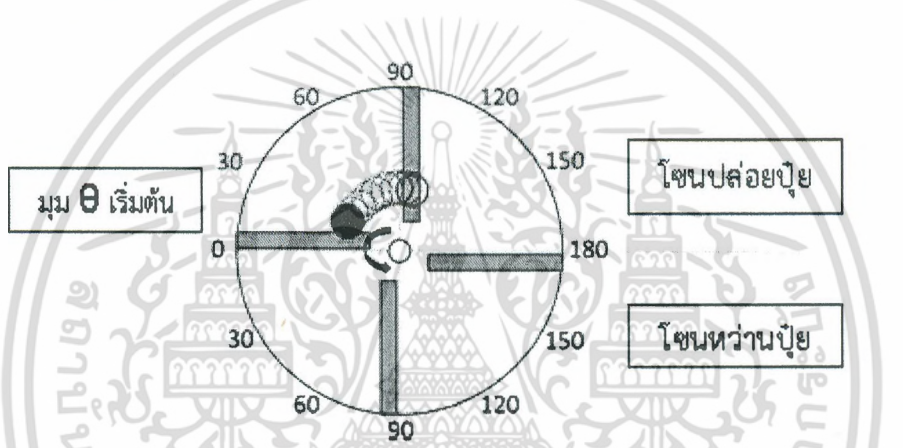


ภาพที่ 3.5 กรวยกำหนดอัตราการจ่ายปุ๋ย

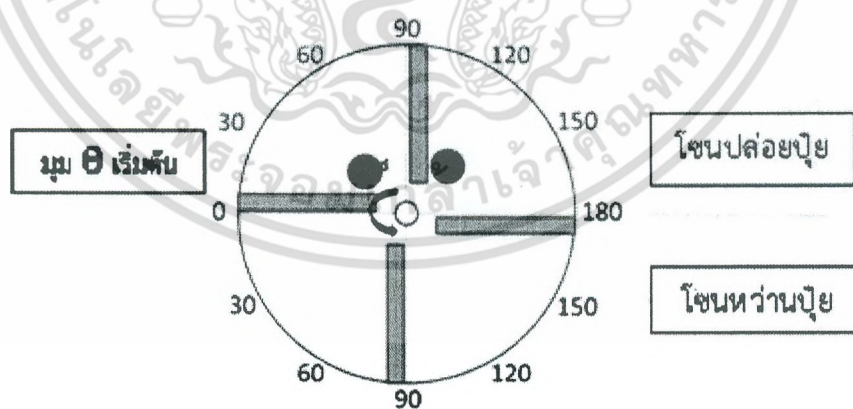
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 แสดงห้องทดสอบกลไกการหว่านแบบจานเหวี่ยง



ภาพที่ 3.7 แสดงมุมเริ่มต้น (ในการปล่อยปฎิ) บนจานเหวี่ยง



ภาพที่ 3.8 แสดงมุมเริ่มต้น (ในการปล่อยปฎิ) และมุมระหว่างกรวยบนจานเหวี่ยง

### 3.3.3 การทดสอบกลไกการหว่านโดยใช้ระบบลม

ในที่นี้เริ่มต้นจากการทดสอบความเร็วลม รวมทั้งความดันลมที่แยกทั้งสองด้าน ซึ่งแต่ละด้านวัดที่ตำแหน่ง 62, 124 เซนติเมตร และปลายท่อ และหลังจากนั้นจะทำการทดสอบโดยป้อนปฎิเข้าสู่ระบบลม ทั้งนี้เพื่อเป็นการหาเงื่อนไขเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ

#### ระบบลมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3.1 อุปกรณ์

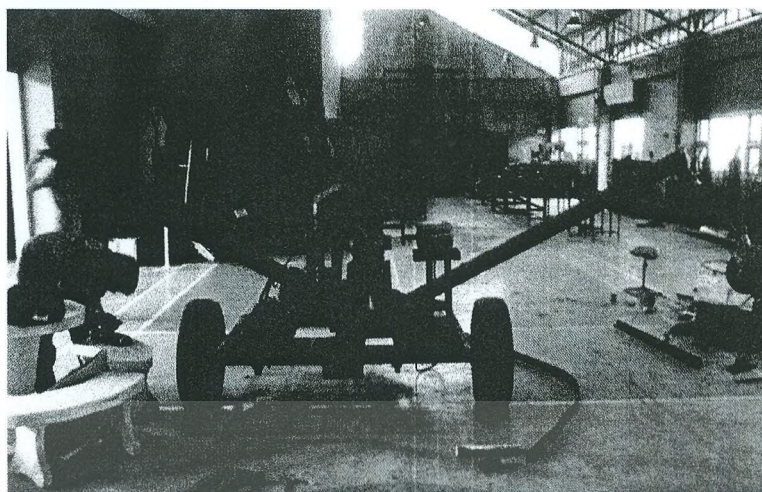
- 1) ชุดทดสอบกลไกการหว่านระบบลม (ภาพที่ 3.9)
- 2) เครื่องชั่ง 60 kg รุ่น UWE
- 3) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น FR-H Series
- 4) ชุด Pitot Tube รุ่น testo 512
- 5) ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์
- 6) กล่องเก็บผลการทดลอง (ขนาด 32 x 24 x 10 cm)
- 7) แก้วเก็บผลการทดลอง
- 8) นาฬิกาจับเวลา
- 9) Inverter รุ่น IPM AS4-315 และ รุ่น RSY-65

### 3.3.3.2 วิธีการ

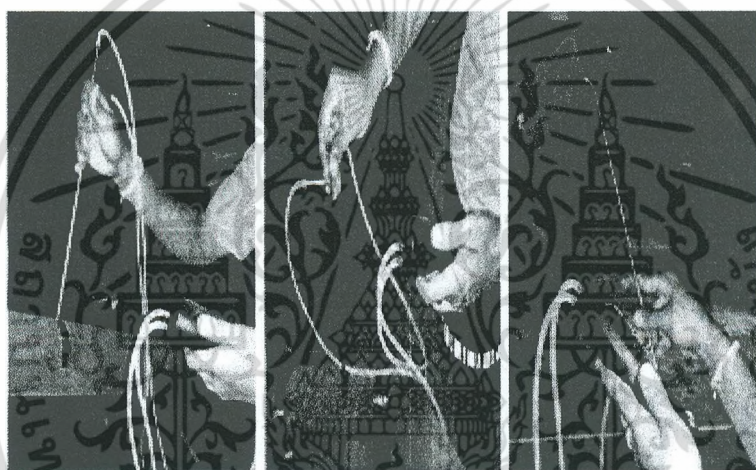
ทำการทดสอบความเร็ว และความดันในท่อแล้ว จากนั้นจะเป็นการทดสอบในส่วน ของการป้อนปุ๋ยเข้าสู่ระบบลม ซึ่งจะเริ่มจากการตรวจสอบปริมาณปุ๋ยที่ออกจากท่อทั้ง 2 ด้าน อัตราการ จ่ายปุ๋ยจริงที่ได้จากระบบ และการทดสอบการกระจายตัว รวมทั้งระยะส่งปุ๋ยเมื่อทำการหว่านลงกล่อง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ทดสอบความเร็ว และความดันในท่อทั้งซึ่งท่อทั้งสองด้านถูกทำการวัดที่ระยะ 62, 124 เซนติเมตร และปลายท่อ โดยทำการปรับ Inverter ใช้ความถี่ตั้งแต่ 10 Hz เพิ่มขึ้นทีละ 5 จนถึง 50 Hz (ภาพที่ 3.10)
- 2) การทดสอบอัตราการจ่ายปุ๋ยของระบบลมที่ออกผ่านท่อแยกทั้ง 2 ด้านและ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายปุ๋ยกับความเร็วลม โดยทำการปรับ Inverter ซึ่งต่อกับมอเตอร์ ของโบลเวอร์ให้มีความถี่ตั้งแต่ 30 Hz ลดลงทีละ 5 จนถึง 10 Hz โดยแต่ละความถี่จะทำการปรับอัตรา การจ่ายปุ๋ยของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering Device) ที่ 10, 15 และ 20 kg/min ตามลำดับ (ภาพที่ 3.11)
- 3) การทดสอบอัตราการจ่ายปุ๋ยที่ได้จริงจากระบบลม โดยจะทำการทดสอบที่ ความถี่ของมอเตอร์โบลเวอร์ 50 Hz ซึ่งเป็นประสิทธิภาพสูงสุดของชุดโบลเวอร์ ซึ่งจะเลือกขนาดช่อง เปิดปริมาณการจ่ายและความเร็วรอบของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering Device) ที่ค่าต่างๆ เพื่อให้ ได้อัตราการจ่ายปุ๋ย 25 kg/min เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับอัตราการจ่ายปุ๋ยจริง 25 kg/min ที่ได้จากระบบลม
- 4) การทดสอบหาการกระจายตัวและระยะส่งปุ๋ย (โดยหว่านปุ๋ยลงกล่อง) โดยจะทำการทดสอบที่อัตราการจ่ายปุ๋ยจริงที่ได้จากระบบลม คือ 25.3 kg/min ซึ่งจะต้องใช้ขนาดช่องเปิด 8 cm และความเร็วยรอบของชุดกำหนดอัตราการจ่ายปุ๋ย (Metering Device) ที่ 100 rpm ทำการทดสอบโดยปรับ Inverter ตั้งแต่ความถี่ 50 Hz ลดลงทีละ 5 จนถึง 30 Hz ทำการทดลองละ 3 ชั่วโมงเก็บผลการทดลองเพื่อมาบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 ชุดทดสอบกลไกการหว่านระบบลม



ภาพที่ 3.10 การทดสอบความเร็วและความดันในท่อ



ภาพที่ 3.11 การทดสอบอัตราการจ่ายปุ๋ยของระบบที่ออกผ่านท่อแยกทั้ง 2 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย

#### 3.4.1 แนวคิดเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์ม น้ำมัน

มีลักษณะการให้ปุ๋ยที่ค่อนข้างแม่นยำและกำหนดตำแหน่งการตกของปุ๋ยได้ ซึ่งจะมี ส่วนประกอบหลักๆ เพื่อทำการหว่านปุ๋ยอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนกลไกการหว่านปุ๋ย และส่วนของการ กำหนด ปริมาณการจ่ายปุ๋ยดังนี้

1) ส่วนกลไกการหว่านปุ๋ย รับกำลังจากเพลาลูกเบี้ยว และถูกส่งถ่ายกำลังออกเป็น 2 ส่วนๆ หนึ่งจะถูกส่งถ่ายกำลังไปที่โบลเวอร์เพื่อใช้กับระบบลมสำหรับหว่านปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ อีกส่วน หนึ่ง ส่งถ่ายกำลังไปที่จานเหวี่ยง มีทั้งหมด 3 จานสำหรับปุ๋ย 3 ชนิดคือ ยูเรีย, ไโดแอมโมเนียมฟอสเฟตและซี เซอร์ไรท์

2) ส่วนของการกำหนดปริมาณปุ๋ยโดยใช้ Metering Device ซึ่งจะรับกำลังมาจากการหมุน ของล้อ ซึ่งตรงจุดนี้จะสามารถตัดกำลังการหมุนของชุด Metering Device ได้ในขณะรถวิ่งที่หว่าน และ ความเร็วในการหว่านจะขึ้นอยู่กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถโดยตรง

#### 3.4.2 ข้อกำหนดเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย

- 1) ความเร็วทางตรงในการทำงาน 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 2) หนากว้างในการหว่านปุ๋ย 15.6 เมตร (ครอบคลุมแถวปลูกปาล์ม 2 แถว)
- 3) ความหนาแน่นในการปลูกปาล์ม 22 ต้น/ไร่ ระยะปลูก 9 x 9 เมตร
- 4) ปริมาณการจ่ายปุ๋ยตามคำแนะนำการให้ปุ๋ยสำหรับต้นปาล์มน้ำมันโตเต็มวัยโดยแบ่งการ ให้เป็น 3 ครั้งคือ 50%, 25% และ 25% ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันโตเต็มวัย (ชัยรัตน์ และคณะ, 2553)

ชนิดปุ๋ย	ปริมาณความต้องการปุ๋ย (กก./ต้น/ปี)		
	100%	50%	25%
Urea	1.5141	0.757	0.378
DAP	1.05	0.525	0.263
KCl	2.8	1.4	0.7
MgO	0.7	0.35	0.175

หมายเหตุ จำนวนครั้งที่หว่านแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง/ปี คือ 50%, 25% และ 25% ตามลำดับ

### 3.4.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องหว่านปุ๋ย

คำอธิบายหมายเลขต่างๆ

หมายเลข 1 คือ ถังบรรจุปุ๋ย KCl

หมายเลข 2 คือ ถังบรรจุปุ๋ย Urea

หมายเลข 3 คือ ถังบรรจุปุ๋ย MgO

หมายเลข 4 คือ ถังบรรจุปุ๋ย DAP

หมายเลข 5 คือ โบลเวอร์

หมายเลข 6 คือ เกียร์ทด 1 : 5

หมายเลข 7 คือ ท่อลม

หมายเลข 8 คือ โรตารี Air Lock

หมายเลข 9 คือ ชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering Device)

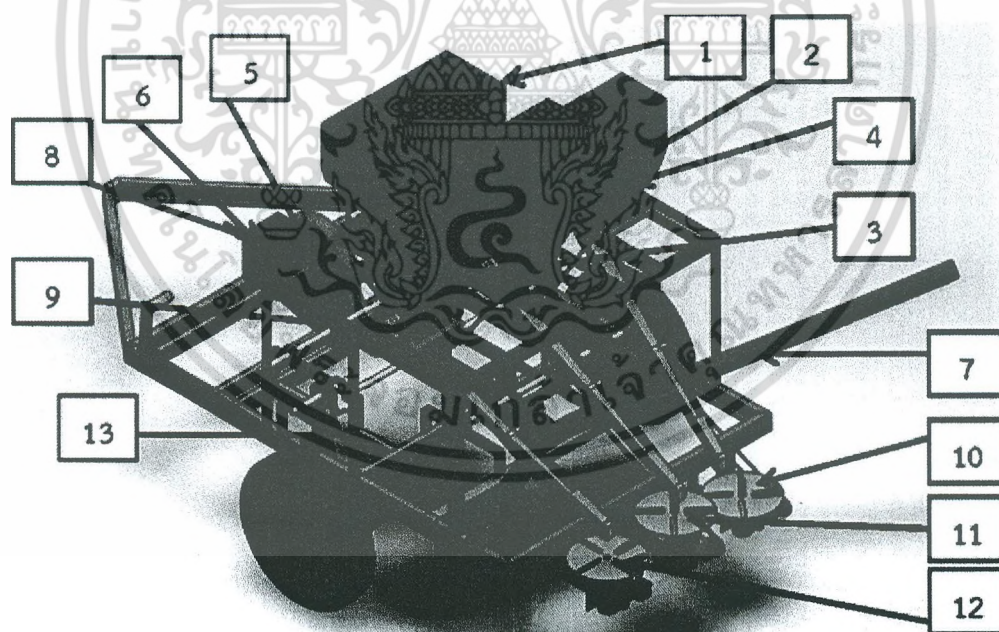
หมายเลข 10 คือ ชุดจานเหวี่ยงปุ๋ย DAP

หมายเลข 11 คือ ชุดจานเหวี่ยงปุ๋ย Urea

หมายเลข 12 คือ ชุดจานเหวี่ยงปุ๋ย MgO

หมายเลข 13 คือ ชุดตัดต่อกำลังจากล้อ

3.4.3.1 โครงสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน



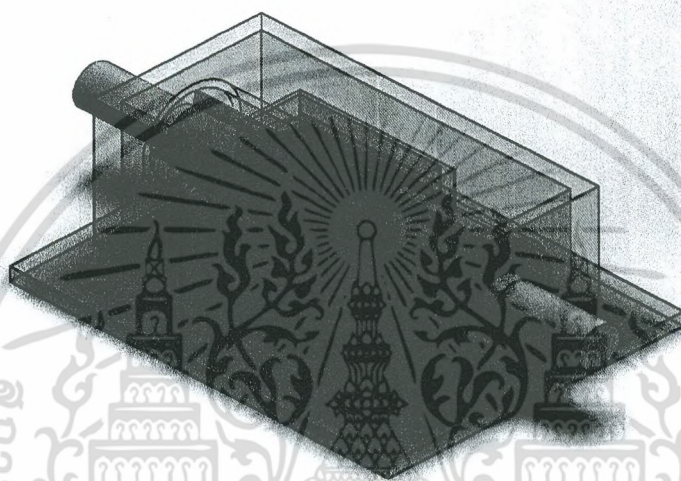
ภาพที่ 3.12 แบบจำลองเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-fertilizer ชนิดพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

#### 3.4.3.2 การออกแบบชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering Device)

จากการคำนวณจะได้อัตราการจ่ายปุ๋ยแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบและสร้างตัวกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering) เพื่อทดสอบหาขนาดช่องเปิดที่ สอดคล้องกับปริมาณปุ๋ยที่ต้นปาล์มต้องการ โดยแต่ละช่องเปิดสามารถปรับได้ตั้งแต่ 1-11 เซนติเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อัตราการจ่ายปุ๋ยต่อพื้นที่เมื่อทำงานที่ความเร็วทางตรง 5 กม./ชม.

ชนิดปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่ต้นปาล์มต้องการ (กก./ต้น/ปี)		
	100%	50%	25%
Urea	13.53	6.76	6.76
DAP	9.38	4.69	4.69
KCl	25.025	12.51	12.51
MgO	6.25	3.12	3.12



ภาพที่ 3.13 แบบจำลองชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย (Metering Device)

#### 3.4.3.3 การออกแบบชุดถังบรรจุปุ๋ย (Hopper)

ในการออกแบบชุดถังบรรจุปุ๋ย (Hopper) ได้มีการออกแบบให้ถังบรรจุปุ๋ยได้สูงสุด 350 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.14) และตัวถังทำเหล็กแผ่น โดยการออกแบบถังบรรจุจำเป็นต้องทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของปุ๋ยแต่ละชนิดโดยทำการทดสอบหามุมความเสียดทานของปุ๋ยกับ พื้นผิวเหล็กและหาความหนาแน่นของปุ๋ยแต่ละชนิดในภาชนะบรรจุ ซึ่งผลการทดสอบดังตารางที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ และภายหลังการออกแบบจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.3 มุมเสียดทานและค่าความเสียดทานของปุ๋ยกับพื้นผิวเหล็ก

ชนิดปุ๋ย	มุม $\theta$	ค่าความเสียดทาน $f = \tan\theta$
Urea	30	0.56
DAP	27	0.5
KCl	28	0.52
MgO	28	0.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ความหนาแน่นของปุ๋ยแต่ละชนิด

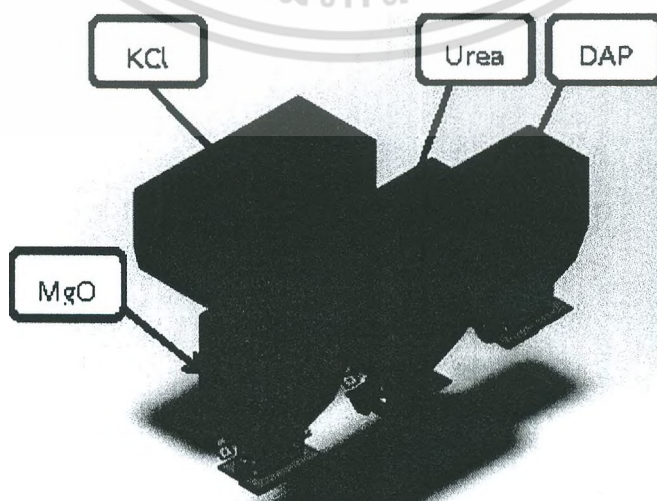
ชนิดปุ๋ย	ความหนาแน่นของปุ๋ยในภาชนะบรรจุ $kg/m^3$	ความหนาแน่นของปุ๋ยของอนุภาคปุ๋ย $kg/m^3$
Urea	733	1533.68
DAP	998.62	2077.86
KCl	1165.7	2229.97
MgO	1389.88	2621.28

ตารางที่ 3.5 สัดส่วนการบรรจุปุ๋ยทั้ง 4 ชนิดของถังบรรจุปุ๋ย

ชนิดปุ๋ย	ความต้องการปุ๋ย (กก./ตัน/ปี)	ความหนาแน่นปุ๋ย $kg/m^3$	สัดส่วนการบรรจุปุ๋ย โดยปริมาตร $v = m/\rho$	สัดส่วนการบรรจุ ปุ๋ยโดยปริมาตร (%)
Urea	1.5141	733	$2.065 \times 10^{-3}$	34
DAP	1.05	998.62	$1.051 \times 10^{-3}$	18
KCl	2.8	1165.7	$2.402 \times 10^{-3}$	40
MgO	0.7	1389.88	$0.504 \times 10^{-3}$	8

ตารางที่ 3.6 ความต้องการปุ๋ย/ไร่

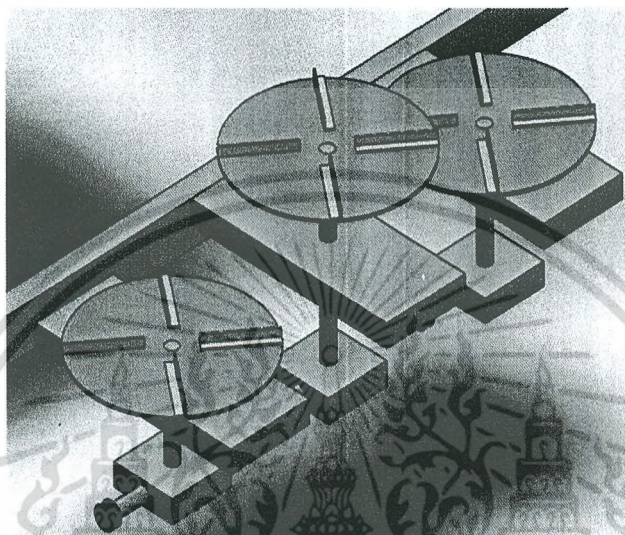
ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่ 1 (Kg)	ครั้งที่ 2 (Kg)	ครั้งที่ 3 (Kg)
Urea	83.5	41.75	41.75
DAP	57.5	28.75	28.75
KCl	154	77	77
MgO	38.5	19.25	19.25
รวม	333.5	166.75	166.75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ การใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**ภาพที่ 3.14** แบบจำลองชุดถังบรรจุปุ๋ย (Hopper)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3.4 การออกแบบจานเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Disc)

จากสมการข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วจากบทที่ 2 สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ 3.7 ซึ่งตัวอย่างการคำนวณจะแนบท้ายที่ภาคผนวก ในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยนั้น ต้องคำนึงว่าต้องการ ระยะส่งเม็ดปุ๋ยไปได้ไกลเพียงใด ครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างกว่าการทำงานเท่าใด และต้องมีการกระจายตัวของเม็ดปุ๋ยดีที่สุด แล้วจึงได้ทำการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย โดยเริ่มจากการกำหนดระยะทางที่ต้องการ ส่งเม็ดปุ๋ยเพื่อที่จะคำนวณหาระยะส่งให้ได้ใกล้เคียง 15.6 เมตรเพื่อใช้ในการออกแบบ และสร้างเครื่อง



ภาพที่ 3.15 แบบจำลองกลไกงานเหวี่ยง

ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณออกแบบงานเหวี่ยงโดยแสดงตัวแปร  $\theta, V_{hr}, \beta, t, h$

ชนิดปุ๋ย	$\theta$	$V_{hr}$ (m/s)	$\beta$ (องศา)	$t$ (วินาที)	$h$ (เมตร)
Urea	133.09	20.73	31.89	0.362	5.82
DAP	132.33	20.74	31.96	0.290	5.05
MgO	126.46	21.21	33.94	0.243	3.44

#### หมายเหตุ

$\theta$  = ระยะทางเชิงมุมที่จานเหวี่ยงหมุนไปขณะที่ปุ๋ยเคลื่อนที่ลงบนจานเหวี่ยงจนกระทั่งเคลื่อนที่ออกจากจานเหวี่ยง

$V_{hr}$  = ความเร็วในแนวราบของปุ๋ย (m/s)

$\beta$  = ทิศทางของปุ๋ยหลังออกจากจานเหวี่ยง

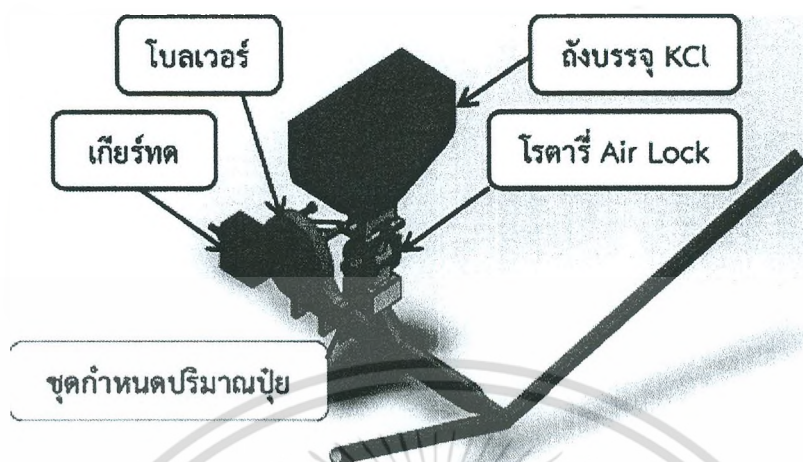
$t$  = เวลาที่ปุ๋ยใช้ในการเคลื่อนที่ตั้งแต่ออกจากจานเหวี่ยงจนแล่นกระทบพื้นดิน (sec)

$h$  = ระยะทางในแนวราบของปุ๋ยที่เคลื่อนที่ออกจากจานเหวี่ยง (m)

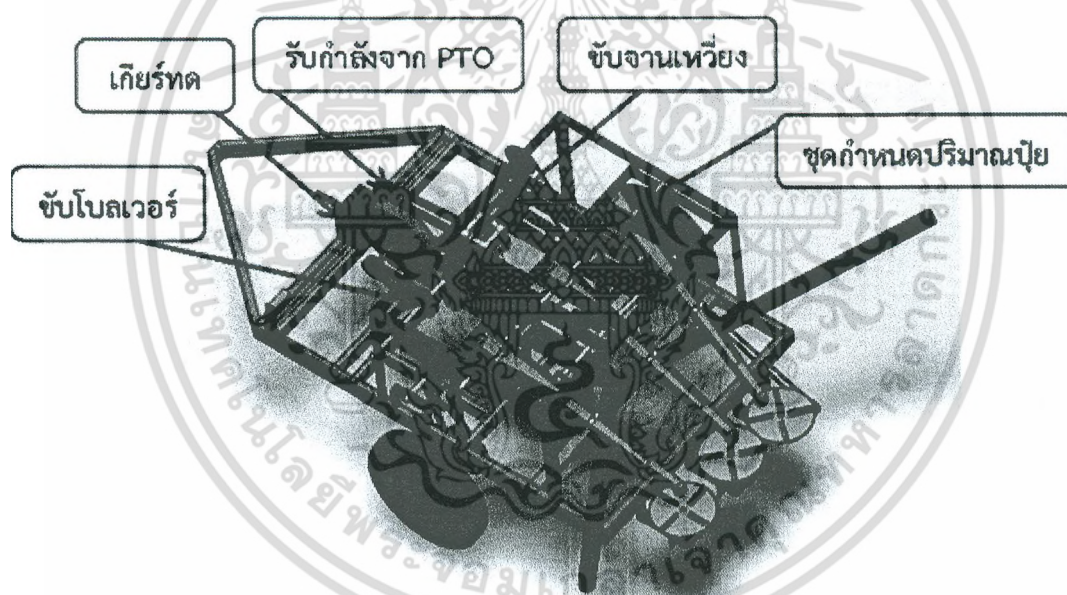
### 3.4.3.5 การออกแบบระบบลำเลียงปุ๋ยด้วยลม (Pneumatic Conveying)

เนื่องจากในอดีตที่ผ่านมา มงคล และคณะ (2549) ได้มีการศึกษาระบบลำเลียงปุ๋ย ด้วยลมพบว่า ปากพ่นปุ๋ยแบบขนาดท่อตรง และมุมของท่อแยกที่  $30^\circ$  คือ ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการ หว่านปุ๋ยด้วยระบบลม จึงใช้ข้อมูลเพื่อเป็นการในออกแบบดังภาพที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 แบบจำลองระบบลำเลียงปุ๋ยด้วยลม



ภาพที่ 3.17 แบบจำลองระบบส่งถ่ายกำลัง

#### 3.4.3.6 การออกแบบระบบส่งถ่ายกำลัง

ระบบส่งถ่ายกำลังของเครื่องหว่านปุ๋ยจะทำการแบ่งระบบการส่งถ่ายกำลังออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะใช้กำลังการหมุนของเพลลาพีทีโอเป็นต้นกำลังหลัก โดยจะใช้ที่ 540 rpm ซึ่งกำลัง จากเพลลาพีทีโอก็จะถูกส่งผ่านเกียร์ทดและถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยจะส่งถ่ายกำลังไปยังระบบต่างๆ ดังนี้ คือ โบลเวอร์, โรตารี Air Lock และ ระบบจานเหวี่ยง และส่วนที่ 2 จะเป็นการส่งถ่ายกำลังจาก การหมุนของล้อ ซึ่งจะส่งถ่ายกำลังไปที่ชุดกำหนดปริมาณปุ๋ยโดยผ่านเพลลาขับ และจะมีอุปกรณ์ที่สามารถตัดกำลังระหว่างเพลลาขับกับเพลลาล้อ ที่ส่งไปยังชุดกำหนดปริมาณปุ๋ยได้ เพื่อตัดกำลังขณะทำ การเลี้ยวหัวงาน เป็นต้น โดยสามารถเห็นได้จากแบบจำลองระบบส่งถ่ายกำลัง (ภาพที่ 3.17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การทดสอบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับปาล์มน้ำมัน

#### 3.5.1 ทดสอบการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยตามที่ได้ออกแบบไว้

ในการทดลองนี้เป็นการตรวจสอบรายละเอียดของเครื่องต้นแบบ ให้มีคุณลักษณะตรงตามแบบเพื่อสามารถทำงานได้ตามผลการลงในห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจสอบมิติของกลไกชุดหว่าน หลังจกต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ และทำการปรับแก้เครื่องต้นแบบให้ได้คุณลักษณะตามเงื่อนไขผลการ ทดลองในห้องปฏิบัติการ

##### 3.5.1.1 อุปกรณ์

1) เครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับปาล์มน้ำมัน 2) ตลับเมตร

##### 3.5.1.2 วิธีการ

- 1) ทดลองต่อพ่วงเครื่องหว่านปุ๋ยกับแทรกเตอร์ ต่อจุดพ่วงท้าย ต่อเพลลาที่กำล้งจากพีทีโอ และกล่องเฟืองขับเคลื่อนหว่าน
- 2) วัดมิติของเครื่องหว่านเมื่อต่อพ่วงรถแทรกเตอร์โดยละเอียด
- 3) ตรวจสอบเพื่อปรับแก้คุณลักษณะของกลไกการหว่านให้ตรงตามแบบ

#### 3.5.2 ทดสอบกำล้งและเงื่อนไขการหลุดลาถ

ในการทดสอบนี้เพื่อปรับตั้งเครื่องต้นกำล้ง (แทรกเตอร์วิ่งเปล่า) จากนั้นจะทดสอบเมื่อทำการต่อพ่วง (แทรกเตอร์+เครื่องหว่าน) โดยจะทำการทดสอบเพื่อหาความเร็วรอบของกลไกการหว่านเมื่อต่อพ่วงต้นกำล้ง ซึ่งจะมีอุปกรณ์และวิธีการดังนี้

##### 3.5.2.1 อุปกรณ์

- 1) อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ รุ่น Digicon DT-235T
- 2) เทปวัดระยะ
- 3) นาฬิกาจับเวลา

##### 3.5.2.2 วิธีการ

- 1) ทดสอบเพื่อปรับตั้งแทรกเตอร์วิ่งเปล่า ให้ทำงานที่ความเร็วทางตรง 5 km/hr และให้ความเร็วรอบของเพลลาพีทีโอ 540 รอบต่อนาที
- 2) นำแทรกเตอร์มาต่อพ่วงเครื่องหว่านปุ๋ย แล้วทดลองขับเคลื่อนเครื่องหว่านปุ๋ยบนถนนคอนกรีตเร่งเครื่องตามที่ปรับไว้ในข้อ 1) แล้วจึงตรวจสอบความเร็วทางตรงหลังต่อพ่วง ความเร็วรอบของจานเหวี่ยง หรือเพลลาอื่นๆ ที่ถูกขับด้วยเพลลาพีทีโอเพื่อตรวจสอบว่าเพลลาพีทีโอทำงาน ที่ 540 รอบต่อนาทีจริง
- 3) ถ้าหากการทดสอบในข้อ 2) ไม่ได้ตามเงื่อนไข (ที่ความเร็วทางตรง 5 km/hr และให้ความเร็วรอบของเพลลาพีทีโอ 540 รอบต่อนาที) ต้องปรับแก้ให้ได้ตามเงื่อนไขแล้วกำหนดเป็น การปรับตั้งต้นกำล้งสำหรับการทดลองจริง
- 4) เมื่อได้ค่าการปรับตั้งต้นกำล้งจริงแล้ว ให้ทำการทดลองขับเคลื่อนเครื่องหว่านปุ๋ยบนถนน คอนกรีต แล้วตรวจสอบรายละเอียดดังต่อไปนี้
  - 4.1) ความเร็วรอบเพลลาของกลไกหว่านปุ๋ย (ทุกเพลลาพร้อมบันทึกขนาดพูลเลย์เฟือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3) วัดความเร็วทางตรงของเครื่องหว่านปุ๋ยขณะขับเคลื่อนทุกระบบ เมื่อวิ่งบนถนน คอนกรีต (ระยะทางตรงสำหรับวัดความเร็ว 50 เมตร โดยเผื่อระยะเร่งเครื่องจนความเร็วคงที่ 20 เมตร รวมความยาวถนนไม่น้อยกว่า 70 เมตร)

4.4) วัดการสิ้นเปลืองของล้อรถพ่วง (วัดร้อยละการสิ้นเปลืองในช่วงความเร็วคงที่)

4.5) วัดความเร็วรอบของเพลาชุดจ่ายปุ๋ย, เพลากวนปุ๋ยของถัง KCI, เพลาของ Rotary airlock (ความเร็วรอบของทุกเพลานในระบบขับเคลื่อนชุดจ่ายปุ๋ย/พร้อมบันทึกขนาดฟูล์และเฟือง)

### 3.5.3 ทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องหว่านด้วยเงื่อนไขการทำงานในแปลงปาล์ม น้ำมัน

ในการทดสอบนี้เป็นการศึกษาความคล่องตัวในการทำงานในแปลง (ระยะเวลาในการเลี้ยง) ศึกษาร้อยละการสิ้นเปลืองขณะทำงานในแปลง หาความเร็วทางตรงในการใช้งานในแปลง และศึกษา Application rate (kg/ไร่) ของปุ๋ยแต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลง

#### 3.5.3.1 อุปกรณ์

1) นาฬิกาจับเวลา  
2) เครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวน  
ปาล์มน้ำมัน

3) เทปวัดระยะ

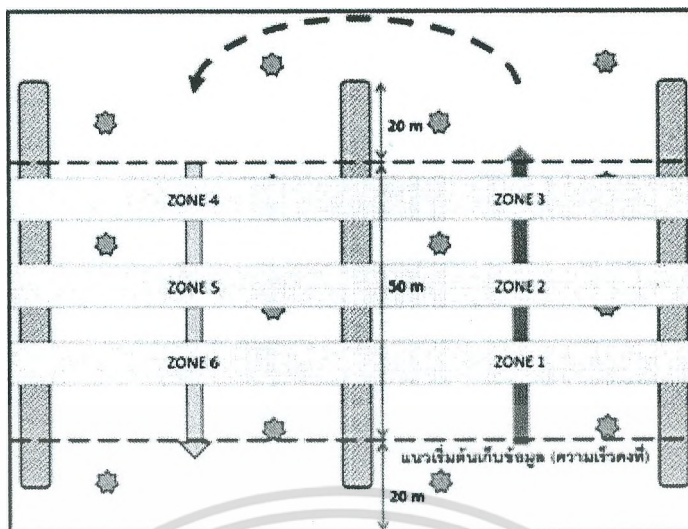
#### 3.5.3.2 วิธีการ

1) บรรจุปุ๋ยแต่ละชนิดลงถัง  
2) ปรับตั้งขนาดช่องเปิดปุ๋ยแต่ละชนิด (ตามผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ)  
3) การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์จะวิ่งด้วยเกียร์ 2 ตำแหน่งเกียร์คน (ตามผลการทดลองที่ 2 การปรับตั้งต้นกำลังสำหรับการทดลองจริง)  
4) วัดระยะหาค่าการสิ้นเปลืองของล้อต่อพ่วง (วัดร้อยละการสิ้นเปลืองในช่วงความเร็ว  
คงที่)  
5) จับเวลาหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องหว่านปุ๋ยปาล์มของแต่ละปุ๋ย (ระยะทางตรงสำหรับวัดความเร็ว 50 เมตร โดยเผื่อระยะเร่งเครื่องจนความเร็วคงที่ 20 เมตร รวมความยาวแปลงไม่น้อยกว่า 70 เมตร)

6) จับเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงรถของแต่ละเที่ยวที่วิ่งทดสอบ (แต่ละปุ๋ย), จับเวลาการวิ่งทั้งหมดแต่ละเที่ยว, จับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการจ่ายปุ๋ยของแต่ละเที่ยว

7) ชั่งน้ำหนักปุ๋ยที่ออกจากชุดจ่ายปุ๋ย (ไม่ต้องหว่าน) โดยหาภาชนะมารองรับปุ๋ยขณะทดลองเพื่อชั่งน้ำหนักปุ๋ยที่ถูกจ่ายจากชุดจ่ายปุ๋ยแต่ละชนิดขณะทำงานในเงื่อนไขแปลงจริง โดยบันทึกระยะทางและช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลน้ำหนักปุ๋ยด้วย ดังนั้นในปุ๋ยแต่ละชนิดจะมี 2 ซ้ำ (ขาไป-กลับ) และเก็บข้อมูลความเร็วรอบของเพลาชุดจ่ายปุ๋ยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.18 แผนผังการทดสอบในแปลงปาล์มน้ำมัน

### 3.5.4 ทดสอบสมรรถนะการหว่านปุ๋ยในแปลงปาล์มน้ำมัน

ในการทดสอบนี้เป็นการหาความสามารถทางไร่ (Field capacity) ประสิทธิภาพทางไร่ (Field efficiency) รวมถึงการศึกษาความสามารถในการหว่าน (Deposit rate, g/m) และความสม่ำเสมอในการหว่าน (Coefficient of Uniformity, % CV of deposit rate) ของปุ๋ยแต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลง และสุดท้ายเป็นการศึกษาลักษณะการหว่านปรากฏ (Distribution pattern) ของปุ๋ยแต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลง

#### 3.5.4.1 อุปกรณ์

- 1) เทปวัดระยะ
- 2) เครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน
- 3) นาฬิกาจับเวลา

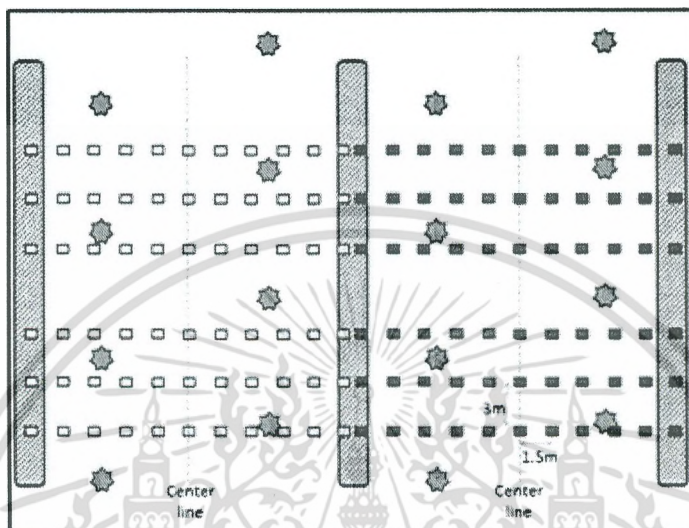
#### 3.5.4.2 วิธีการ

- 1) บรรจุปุ๋ยแต่ละชนิดลงถัง
- 2) ปรับตั้งขนาดช่องเปิดปุ๋ยแต่ละชนิด (ตามผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ)
- 3) การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์จะวิ่งด้วยเกียร์ 2 ตำแหน่งเกียร์คน (ตามผลการทดลองที่ 2 การปรับตั้งต้นกำลังสำหรับการทดลองจริง)
- 4) วัดระยะหาค่าการสิ้นไกลของล้อต่อพ่วง (วัดร้อยละการสิ้นไกลในช่วงความเร็วคงที่)
- 5) จับเวลาหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องหว่านปุ๋ยปาล์มของแต่ละปุ๋ย (ระยะทางตรงสำหรับวัดความเร็ว 50 เมตร โดยเมื่อระยะเร่งเครื่องจนความเร็วคงที่ 20 เมตร รวมความยาวแปลงไม่น้อยกว่า 70 เมตร)
- 6) จับเวลาที่ใช้ในการเลี้ยวรถของแต่ละเที่ยวที่วิ่งทดสอบ (แต่ละปุ๋ย), จับเวลาการวิ่งทั้งหมดแต่ละเที่ยว, จับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการจ่ายปุ๋ยของแต่ละเที่ยว และจับความเร็วรอบของเพลลาจ่ายปุ๋ยขณะทดลองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังสื่ออื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5×3 เมตร บนพื้นที่ 15.6×6 ตรม. แบ่งเป็น 11 ตอน 3 แถว ในแต่ละโซนเก็บข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย 6 โซน ขาไป 3 โซน (1-3) และขากลับ 3 โซน (4-6) ดังภาพที่ 3.18 และ 3.19 ซึ่งพื้นที่เก็บตัวอย่าง วางในเขตความเร็วทางตรงคงที่ 50 เมตร

8) เก็บตัวอย่างปุ๋ยในกล่องเก็บตัวอย่างแต่ละกล่องเพื่อชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณความสามารถในการหว่าน



ภาพที่ 3.19 แผนผังการวางกล่องเก็บตัวอย่างปุ๋ยในแปลงทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 การหาสมบัติทางกายภาพของปุ๋ย

สมบัติทางกายภาพของปุ๋ยนับว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ย ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการออกแบบอุปกรณ์แต่ละชนิด โดยค่าสมบัติทางกายภาพที่ทำการทดสอบได้แก่ ค่ามุลิน ไกลของเม็ดปุ๋ย ค่าความหนาแน่นของปุ๋ย และขนาดของเม็ดปุ๋ย ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นมากในการออกแบบ โดยเฉพาะการออกแบบถังบรรจุปุ๋ย ซึ่งจากตารางที่ 4.1 สามารถใช้ค่ามุลินไกลของเม็ดปุ๋ยเป็นข้อมูลในการออกแบบถังบรรจุปุ๋ยได้ ในที่นี้เลือกใช้วัสดุที่ทำจากเหล็กแผ่นธรรมดา จะเห็นได้ว่า ปุ๋ยที่มีมุลินไกลมากที่สุดนั่นคือ Urea เท่ากับ 30 องศา โดยในการกำหนดมุมเอียงของถังบรรจุปุ๋ยแต่ละชนิดจะต้องกำหนดให้มีค่ามากกว่ามุลินไกลของเม็ดปุ๋ย ลำดับต่อไปกล่าวถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของปุ๋ยซึ่งจะต้องใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบงานเหวียง โดยที่มีการทดสอบกับพื้นผิวของวัสดุทั้ง 2 ชนิด คือ ทั้งแผ่นเหล็กธรรมดา และทาสี ซึ่งจะเห็นได้ว่า แผ่นเหล็กทาสีมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าแผ่นเหล็กธรรมดา ซึ่งเป็นผลดีต่อการออกแบบงานเหวียงเพื่อให้มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อวัสดุที่ทำงานเหวียงน้อยที่สุด

จากตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นภายในภาชนะจะใช้ข้อมูลเพื่อออกแบบสัดส่วนการบรรจุปุ๋ยโดยปริมาตรเมื่อเทียบกับความต้องการปุ๋ยแต่ละชนิดที่ไม่เท่ากัน ความหนาแน่นของอนุภาคจะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณการออกแบบงานเหวียง ด้วยความหนาแน่นของอนุภาคที่ไม่เท่ากันย่อมมีผลกับระยะที่ปุ๋ยถูกเหวียงออกไปจากงานเหวียง และขนาดของเม็ดปุ๋ยก็จะเป็นอีกข้อมูลสำคัญที่ใช้สำหรับการคำนวณเพื่อออกแบบงานเหวียงเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 แสดงมุลินไกลและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของปุ๋ย

ชนิดปุ๋ย	มุลินไกลของเม็ดปุ๋ย (องศา)		สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	
	แผ่นเหล็กธรรมดา	แผ่นเหล็กทาสี	แผ่นเหล็กธรรมดา	แผ่นเหล็กทาสี
Urea	30	26	0.56	0.48
DAP	27	25	0.5	0.47
KCl	28	-	0.52	-
MgO	28	22	0.52	0.39

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นและขนาดของเม็ดปุ๋ย

ชนิดปุ๋ย	ความหนาแน่นภายในภาชนะ	ความหนาแน่นของอนุภาค	ขนาดของเม็ดปุ๋ย
	$kg/m^3$	$kg/m^3$	$mm$
Urea	733	1533.68	3.48
DAP	998.62	2077.86	3.23
KCl	1165.7	2229.97	3.41
MgO	1389.88	2621.28	3.49

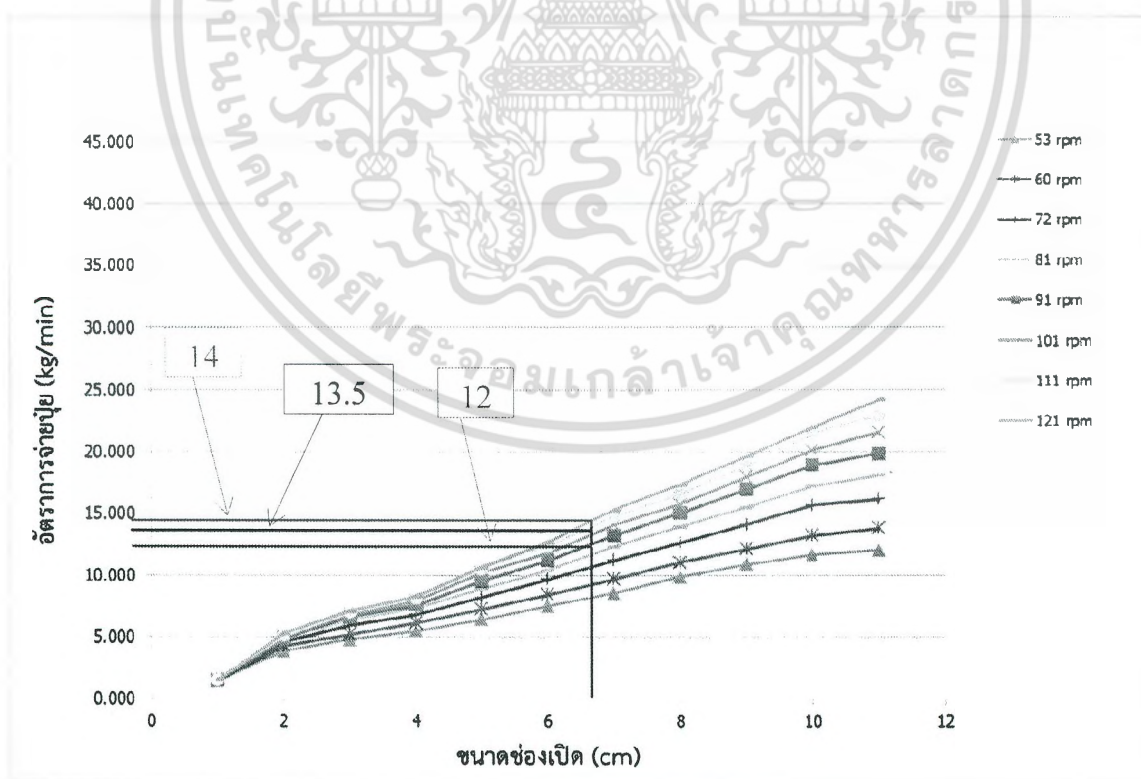
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดสอบหาเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

ผลจากการทดสอบเงื่อนไขเบื้องต้นในการออกแบบ นับว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากการหว่านปุ๋ยในแปลงเกษตรจริงๆ จำเป็นต้องเจอกับตัวแปรสำคัญที่ทำให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อน นั่นคือลม การสั่นสะเทือนของตัวเครื่องขณะวิ่งทำงานในแปลง ซึ่งในที่นี่เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยที่ลักษณะเป็นห้องปิด และชุดทดสอบอยู่กับที่ เพื่อทดสอบดูเงื่อนไขต่างๆ ที่เป็นไปได้โดยไม่มีตัวแปรที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมารบกวน ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

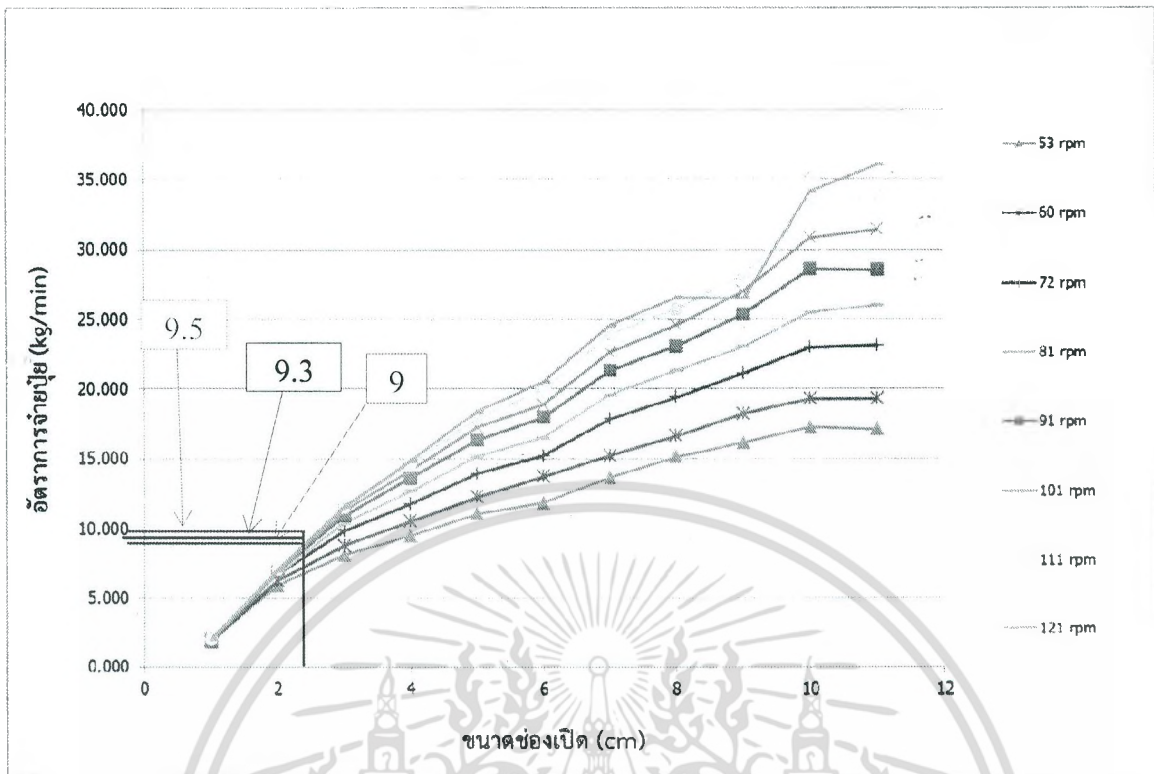
### 4.2.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของ Metering Device กับระยะช่องเปิด

จากการศึกษาการกำหนดปริมาณการจ่ายปุ๋ยโดยชุด Metering Device แบบครีบบน เมื่ออ้างอิงกับเงื่อนไขการทำงานเบื้องต้นที่ ความเร็วรอบ  $90 \pm 10$  รอบต่อนาที สำหรับปุ๋ย Urea ปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการ 13.53 kg/min ต้องปรับช่องเปิด 7 cm ได้อัตราการจ่ายปุ๋ยในช่วง 12-14 kg/min (ภาพที่ 4.1) ปุ๋ย DAP ปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการ 9.38 kg/min ต้องปรับช่องเปิด 3 cm และได้อัตราการจ่ายปุ๋ยในช่วง 9-9.5 kg/min (ภาพที่ 4.2) ปุ๋ย MgO ปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการ 6.25 kg/min ต้องปรับช่องเปิด 2 cm ได้อัตราการจ่ายปุ๋ยในช่วง 6-7 kg/min (ภาพที่ 4.3) ปุ๋ย KCl ปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการ 25.025 kg/min ต้องปรับช่องเปิด 8 cm ได้อัตราการจ่ายปุ๋ยในช่วง 23-28 kg/min (ภาพที่ 4.4) จะเห็นได้ว่าอัตราการจ่ายปุ๋ยที่ได้จะอยู่ในช่วง เพราะในสถานการณ์ทำงานจริง ไม่อาจจะกำหนดความเร็วการเคลื่อนที่ของรถให้คงที่ได้ จึงมีการทดสอบที่ค่าความเร็วรอบต่างๆ ของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ยแบบครีบบน และสามารถสรุปเป็นรูปแบบตารางดังตารางที่ 4.3

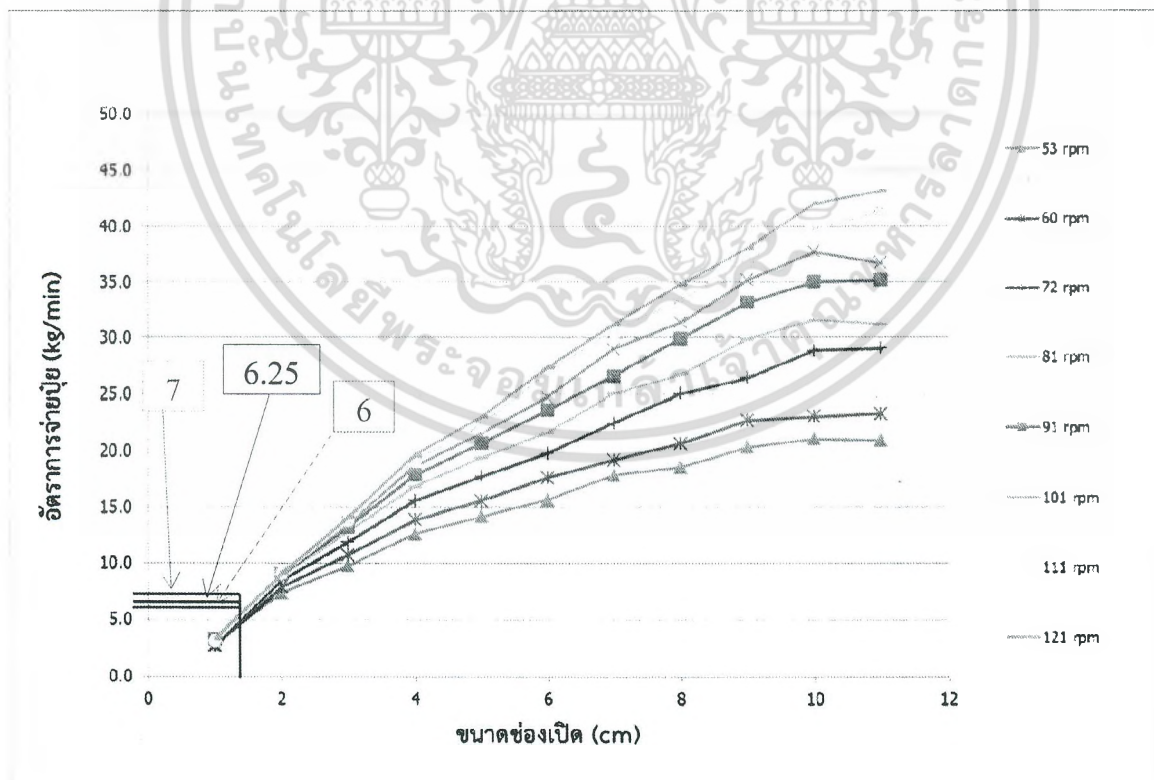


ภาพที่ 4.1 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย Urea

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

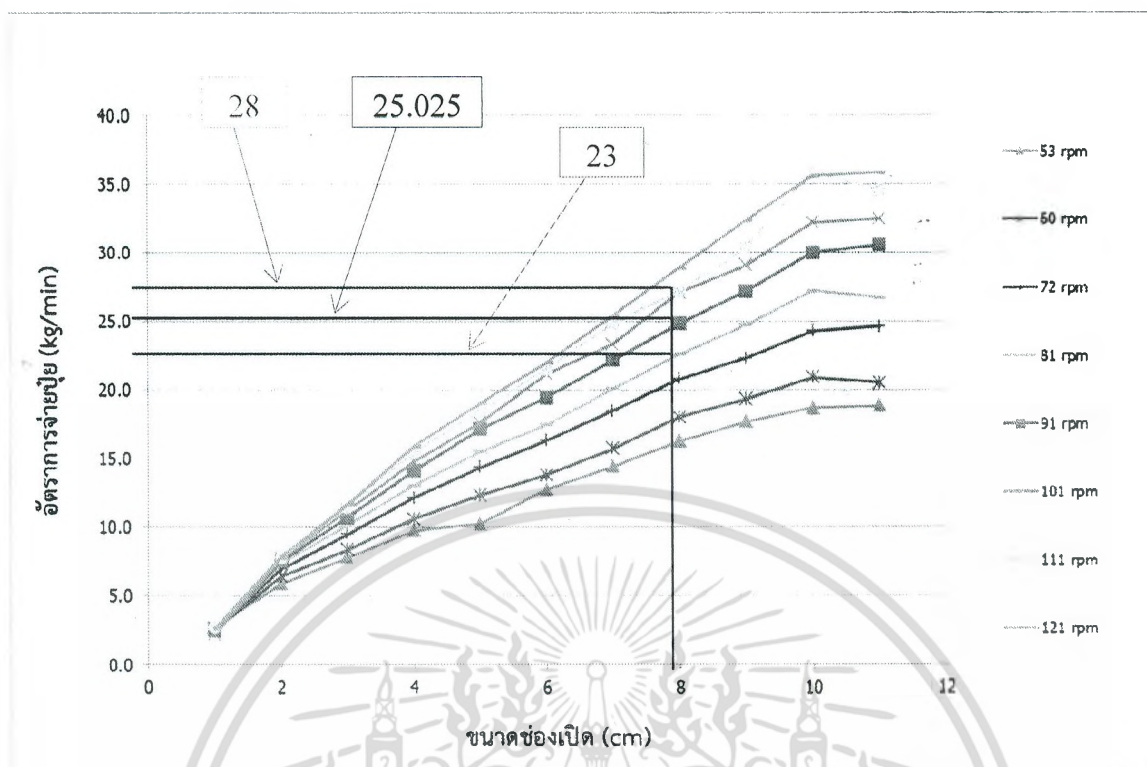


ภาพที่ 4.2 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย DAP



ภาพที่ 4.3 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย MgO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ผลระหว่างความเร็วรอบกับขนาดช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการจ่ายปุ๋ย KCl

ตารางที่ 4.3 การกำหนดขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมของปุ๋ยแต่ละชนิดเมื่อกำหนดความเร็วใช้งาน Metering Device  $90 \pm 10$  rpm

ชนิดปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการ (kg/min)	ปริมาณปุ๋ยที่ได้จากชุดกำหนดปริมาณแบบคิริบหมุน (kg/min)	ช่องเปิดที่ใช้ (cm)
Urea	13.53	12-14	7
DAP	9.38	9-9.5	3
MgO	6.25	6-7	2
KCl	25.025	23-28	8

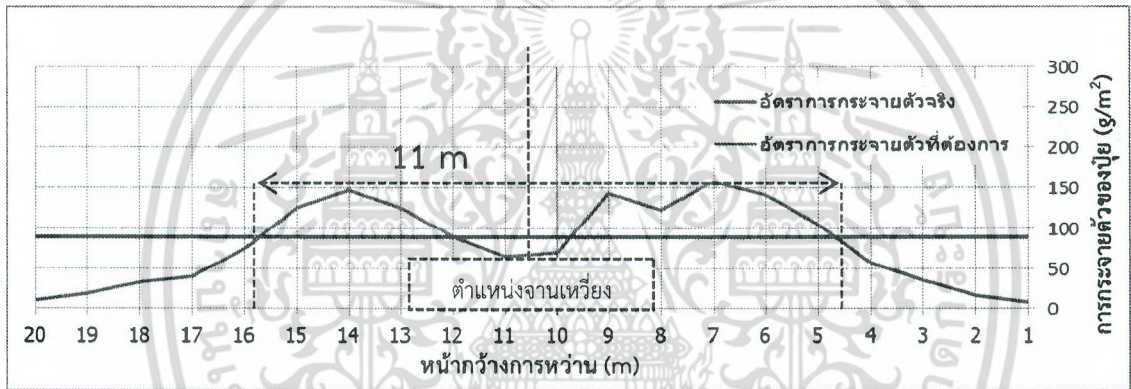
#### 4.2.2 การทดสอบกลไกการหว่านแบบจานเหวี่ยง

จากการศึกษาการหว่านปุ๋ย Urea พบว่าการใช้ 2 จุดปล่อย ที่มีระยะห่างจุดปล่อย  $70^\circ$  และมุมปล่อยเท่ากับ  $90^\circ$  ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย  $9.19$  kg/min เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ ให้ความกว้างการหว่าน 11 เมตร จากความกว้างที่ต้องการสำหรับปุ๋ย Urea ประมาณ 13.3 เมตร ซึ่งความกว้างทั้งสองด้านเมื่อเทียบกับจุดกึ่งกลางของจานเหวี่ยงจะมีความสมมาตร (ภาพที่ 4.5 ก) แต่จากการออกแบบเครื่องหว่านปุ๋ยนี้จะใช้แบบจุดปล่อยเดียวสำหรับจานเหวี่ยงแต่ละจาน ซึ่งปัญหาสำหรับ 2 จุดปล่อยคือ จะต้องออกแบบให้ปริมาณการจ่ายปุ๋ยเท่ากันทั้ง 2 จุดปล่อยถือเป็นเรื่องยากมาก ในอดีต Tyler (1970) ได้จัดลิขสิทธิ์ รูปแบบการปล่อยปุ๋ยลงบนจานเหวี่ยง โดยใช้ระบบสายพานลำเลียงปุ๋ยผ่านช่องที่ถูกแบ่งเป็น 2 ช่องเท่าๆ กัน แต่ไม่สามารถปรับองศาการปล่อยปุ๋ยได้ และจะต้องปล่อยลง 12 นิ้ว จานที่หมุนสวนทางกันถ้าไม่วอร์มใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

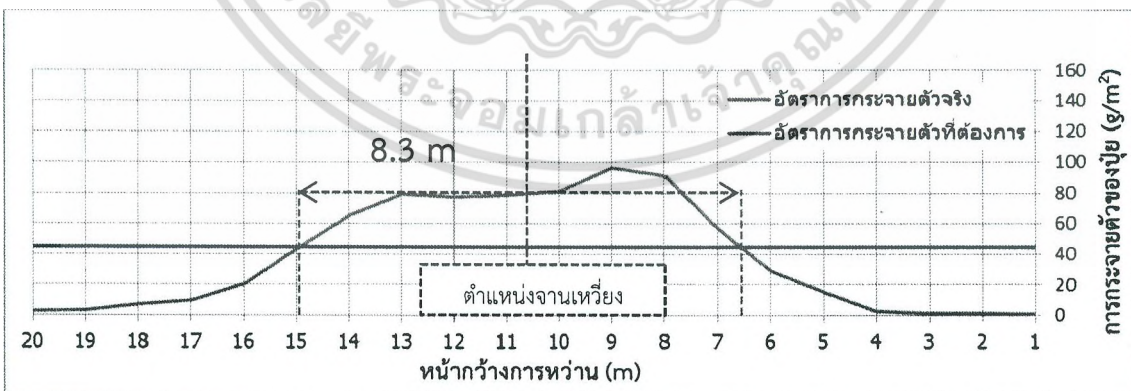
เท่านั้น ซึ่งในการออกแบบ และการศึกษาของโครงการนี้ต้องการใช้รางเอียงและสามารถปรับจุดปล่อยปุ๋ยบนจานเหวี่ยงได้อิสระ ดังนั้นผลการปล่อยปุ๋ยแบบ 1 จุดปล่อย และที่มุมปล่อย  $50^\circ$  ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย  $9.19 \text{ kg/min}$  เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ ให้น้ำกว้างการหว่าน 8.3 เมตร และลักษณะการหว่านมีความสมมาตร (ภาพที่ 4.5 ข)

จากการศึกษาการหว่านปุ๋ย DAP พบว่าการใช้ 1 จุดปล่อยด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย  $19.31 \text{ kg/min}$  ที่มุมปล่อย  $70^\circ$  เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ ให้ความกว้างการหว่าน 7.2 เมตร จากที่ต้องการประมาณ 6.8 เมตรและมีกราฟในลักษณะเบ้ซ้าย (ภาพที่ 4.6) ซึ่งเหมาะสมกับการออกแบบโดยจะวางจานเหวี่ยงไปทางขวาเป็นระยะ 0.4 เมตรจากจุดกึ่งกลางจานเหวี่ยง Urea จะทำให้ได้ความสมมาตรที่สุด

จากการศึกษาการหว่านปุ๋ย  $\text{MgO}$  พบว่าการใช้ 1 จุดปล่อย ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย  $19.31 \text{ kg/min}$  ที่มุมปล่อย  $70^\circ$  ให้ความกว้างการหว่าน 7.4 เมตรจากที่ต้องการประมาณ 6.8 เมตรและมีกราฟในลักษณะเบ้ขวา (ภาพที่ 4.7) ซึ่งเหมาะสมกับการออกแบบโดยจะวางจานเหวี่ยงไปทางซ้ายเป็นระยะ 0.4 เมตรจากจุดกึ่งกลางจานเหวี่ยง Urea จะทำให้ได้ความสมมาตรที่สุด



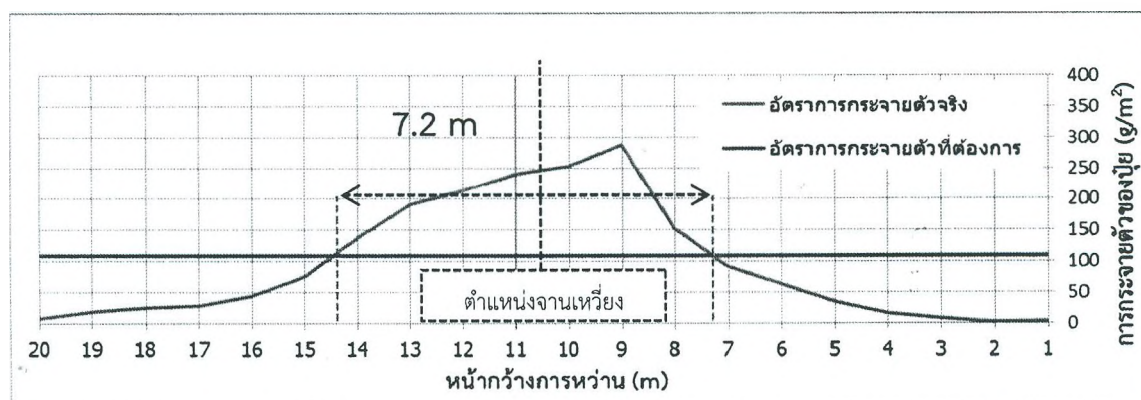
ก) ผลการหว่านปุ๋ย Urea ที่มุมระหว่างจุดปล่อย  $70^\circ$  และมุมปล่อย  $90^\circ$  ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย  $9.19 \text{ kg/min}$



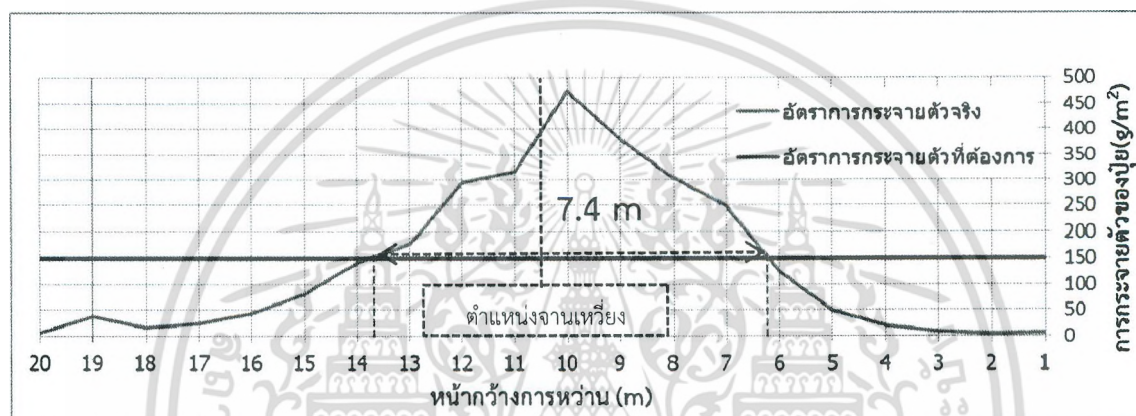
ข) ผลการหว่านปุ๋ย Urea ที่มุมปล่อย  $50^\circ$  ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย  $9.19 \text{ kg/min}$

ภาพที่ 4.5 ผลการหว่านปุ๋ย Urea

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ผลการหว่านปุ๋ย DAP ที่มุมปล่อย 70° ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย 9.19 kg/min



ภาพที่ 4.7 ผลการหว่านปุ๋ย MgO ที่มุมปล่อย 70° ด้วยอัตราการปล่อยปุ๋ย 9.19 kg/min

#### 4.2.3 การทดสอบกลไกการหว่านโดยใช้ระบบลม

##### 4.2.3.1 ทดสอบความเร็ว และความดันในท่อทั้งซึ่งท่อทั้งสองด้าน

จากการทดสอบการไหลในท่อของลม ซึ่งถูกวัดค่าที่ท่อหลักก่อนทางแยก โดยจะมีค่าความเร็วลมต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 22.02 และ 103.52 m/s ตามลำดับ ส่วนค่าความดันลมต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 241.31 และ 5366.81 Pa ตามลำดับ ซึ่งทั้งความเร็วและความดันลมมีค่าเพิ่มขึ้นตามรอบของพัดลม ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ส่วนการวัดค่าที่ท่อแยกด้านซ้ายซึ่งถูกวัดที่ 3 ตำแหน่งดังแสดงในตารางที่ 4.5 จะมีค่าความเร็วลมต่ำสุดและสูงสุดประมาณ 8 และ 48 m/s ตามลำดับ ส่วนค่าความดันลมต่ำสุดและสูงสุดประมาณ 34 และ 1100 Pa ตามลำดับ และสุดท้ายเป็นการวัดที่ท่อแยกด้านขวาซึ่งถูกวัดที่ 3 ตำแหน่งเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จะมีค่าความเร็วลมต่ำสุดและสูงสุดประมาณ 6.5 และ 43 m/s ตามลำดับ ส่วนค่าความดันลมต่ำสุดและสูงสุดประมาณ 16 และ 950 Pa ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า ทั้งความเร็วและความดันลมที่ตำแหน่งต่างของท่อแยกไม่มีการเปลี่ยนแปลงเยอะ หากมีความยาวมาก ความสูงจากพื้นดินก็จะมากด้วย เพราะท่อวางเอียงทำมุม 30 องศาจากพื้น

##### 4.2.3.2 การทดสอบอัตราการจ่ายปุ๋ยของระบบลมที่ออกผ่านท่อแยกทั้ง 2 ด้าน

จากการทดสอบพบว่า อัตราการจ่ายปุ๋ยของระบบลมเมื่อผ่านท่อแยกทั้ง 2 ด้านมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้เป็นเนื่องมาจาก ทั้งความเร็วและความดันที่ออกจากท่อลมทั้ง 2 ด้านที่เคยทดสอบก่อนหน้ามีค่าไม่เท่ากัน นอกจากนี้ปริมาณปุ๋ยที่ออกจากท่อแยกทั้ง 2 ด้านรวมกันได้ไม่เท่ากับอัตราการจ่ายของชุดกำหนดเอ ปริมาณปุ๋ย ทั้งนี้เนื่องมาจากก่อนทดสอบชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย ปุ๋ยที่ผ่านครีบบ่มุนมาแล้วก็จะตกลงด้วยน้ำหนักไม่สม่ำเสมอ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงโน้มถ่วง แต่ในขณะที่ไม่อยู่ในระบบลมปุยที่ผ่านครีบหมุนจะต้องเจอกับลมในระบบท่อที่ย้อนขึ้นมาปะทะ ทำให้อัตราการจ่ายปุยในระบบลมเกิดความคลาดเคลื่อน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทดลองที่ได้จากชุดกำหนดปริมาณปุย และที่เห็นได้ชัดเจนอีกอย่าง คือ อัตราการจ่ายปุยกับปริมาณหรือความเร็วลมมีผลกันโดยตรง และอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณการจ่ายปุยของระบบลมเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากมีปุยไปตกค้างในท่อ และสามารถเห็นได้ชัดเจนเมื่อ ความเร็วลมน้อยลงที่ ความถี่ 15 และ 10 Hz โดยจะไม่มีปุยออกมาจากท่อแยกทั้ง 2 ด้านเลย ดังแสดงในตารางที่ 4.7

#### 4.2.3.3 การทดสอบอัตราการจ่ายปุยที่ได้จริงจากระบบลม

จากการทดสอบพบว่า ที่อัตราการจ่ายปุยของชุดกำหนดปริมาณปุย 28 kg/min ซึ่งต้องใช้ช่องเปิด 8 cm และความเร็วรอบชุดกำหนดปริมาณปุย 100 rpm จะสามารถให้อัตราการจ่ายปุย 25.3 kg/min (ตารางที่ 4.8) จากอัตราการจ่ายตามความต้องการปุย KCl โดยประมาณ 25 kg/min (ตารางที่ 3.2) ซึ่งในที่นี้จะใช้ข้อมูลเบื้องต้นที่ 25 kg/min เพื่อเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องหว่านปุย

#### 4.2.3.4 การทดสอบหาการกระจายตัวและระยะส่งปุย

ผลจากการทดสอบพบว่า ที่ประสิทธิภาพลม 40 Hz ซึ่งมอเตอร์โบลเวอร์เท่ากับ 2373 rpm จากแผนผังการหว่านปุยสำหรับ KCl จะต้องระยะส่งปุยสองด้านๆ ละตั้งแต่ 6.3-9.3 เมตร และอัตราการกระจายตัวของปุยที่ต้องการ คือ  $158.13 \text{ g/m}^2$  โดยผลการทดสอบนี้เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ สามารถให้หน้ากว้างการหว่านปุยด้านซ้ายตั้งแต่ 6-9 เมตร และหน้ากว้างการหว่านปุยด้านขวาตั้งแต่ 4.7-7.2 เมตร (ภาพที่ 4.8) ซึ่งถือว่าใกล้เคียงที่สุดสำหรับเงื่อนไขที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสาเหตุเบื้องต้นนี้อาจทำให้ระยะส่งปุยของทั้งสองด้านไม่เท่ากันในที่นี้ด้านซ้ายส่งปุยได้ไกลกว่าข้างขวา เนื่องมาจากความเร็วและความดันลมในท่อแยกทั้งสองด้านไม่เท่ากันโดยข้างซ้ายจะสูงกว่าข้างขวา ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

#### ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการไหลในท่อที่ตำแหน่งท่อหลักก่อนทางแยก

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบพัดลม	ความเร็วลม (m/s)	ความดันลม (Pa)
	rpm		
10	597	22.02	241.31
15	896	32.1	510.21
20	1191	42.4	896.31
25	1489	52.7	1387.22
30	1782	63.04	1989.82
35	2077	73.42	2694.47
40	2370	83.46	3479.09
45	2659	93.66	4386.44
50	2946	103.52	5366.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงความเร็วและความดันลมในท่อที่ตำแหน่งต่างๆ ของท่อแยกด้านซ้าย

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบพัดลม rpm	ความดันลม Pa			ความเร็วลม m/s		
		62 cm	124 cm	ปลายท่อ	62 cm	124 cm	ปลายท่อ
10	597	34.47	34.47	34.47	8.5	8.78	6.34
15	896	89.63	96.52	81.35	13.58	14	13
20	1191	169.61	179.26	172.36	18.44	19.1	18.76
25	1490	267.51	289.57	275.79	23.28	24.04	24.18
30	1783	384.72	417.82	428.85	27.86	29.12	29.26
35	2077	533.65	570.88	594.32	32.74	33.6	34.5
40	2368	703.26	744.63	772.21	37.26	33.8	39.46
45	2657	863.22	936.30	983.19	41.7	43.42	44.32
50	2944	1110.25	1150.04	1198.30	46.3	48.08	49.2

ตารางที่ 4.6 แสดงความเร็วและความดันลมในท่อที่ตำแหน่งต่างๆ ของท่อแยกด้านขวา

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบพัดลม rpm	ความดันลม Pa			ความเร็วลม m/s		
		62 cm	124 cm	ปลายท่อ	62 cm	124 cm	ปลายท่อ
10	597	13.78	20.68	16.54	6.34	6.62	8.64
15	896	67.56	68.94	89.63	11.98	11.82	13.48
20	1191	140.65	137.89	162.71	16.82	16.58	18.12
25	1490	222.01	227.52	257.86	21.3	21.46	22.72
30	1783	339.22	330.94	372.31	26.40	25.94	27.50
35	2077	459.19	455.05	501.93	30.88	30.26	31.64
40	2368	626.04	598.46	645.34	35.30	34.68	35.84
45	2657	768.07	755.66	808.06	39.20	39.18	40.36
50	2944	963.88	926.65	992.84	43.92	43.06	44.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

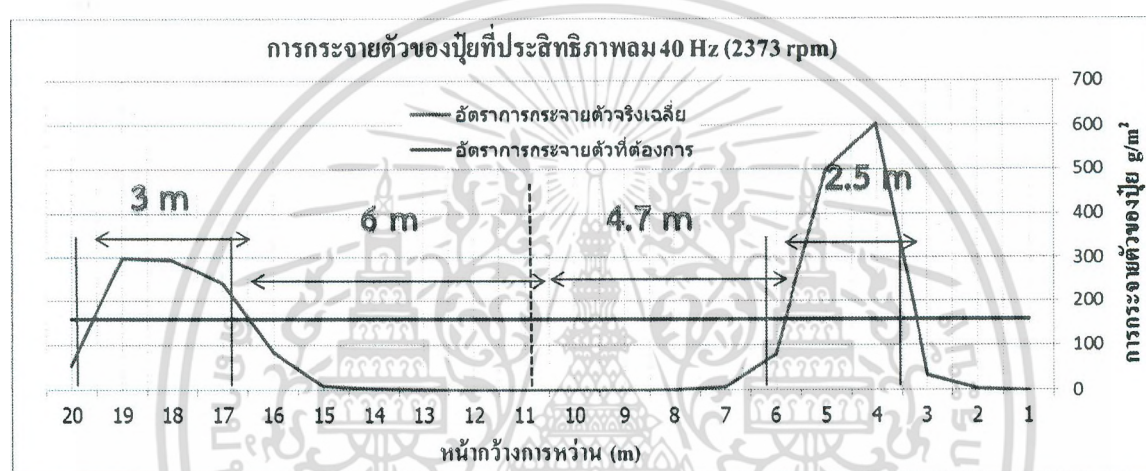
ตารางที่ 4.7 การตรวจสอบอัตราการจ่ายปุ๋ยของระบบลมที่ออกผ่านท่อแยกทั้ง 2 ด้าน

ประสิทธิภาพลม 30 Hz ที่ความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม 1786 rpm			
ข้อมูลของท่อแยก	อัตราการจ่ายปุ๋ยของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย		
	10 kg/min	15 kg/min	20 kg/min
ท่อด้านซ้าย	3.413	3.413	6.435
ท่อด้านขวา	4.502	4.502	1.759
รวม	7.914	7.914	8.194
ประสิทธิภาพลม 25 Hz ที่ความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม 1490 rpm			
ข้อมูลของท่อแยก	อัตราการจ่ายปุ๋ยของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย		
	10 kg/min	15 kg/min	20 kg/min
ท่อด้านซ้าย	3.354	2.719	0.726
ท่อด้านขวา	1.282	0.90	0.388
รวม	4.636	3.619	1.114
ประสิทธิภาพลม 20 Hz ที่ความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม 1190 rpm			
ข้อมูลของท่อแยก	อัตราการจ่ายปุ๋ยของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย		
	10 kg/min	15 kg/min	20 kg/min
ท่อด้านซ้าย	0.295	0.198	0.180
ท่อด้านขวา	0.166	0.137	0.122
รวม	0.461	0.336	0.303
ประสิทธิภาพลม 15 Hz ที่ความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม 895 rpm			
ข้อมูลของท่อแยก	อัตราการจ่ายปุ๋ยของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย		
	10 kg/min	15 kg/min	20 kg/min
ท่อด้านซ้าย	0	0	0
ท่อด้านขวา	0	0	0
รวม	0	0	0
ประสิทธิภาพลม 10 Hz ที่ความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม 587 rpm			
ข้อมูลของท่อแยก	อัตราการจ่ายปุ๋ยของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย		
	10 kg/min	15 kg/min	20 kg/min
ท่อด้านซ้าย	0	0	0
ท่อด้านขวา	0	0	0
รวม	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 อัตราการจ่ายปุ๋ยที่ได้จริงจากระบบลม

ขนาดช่องเปิด	$Q_T$ (kg/min)	อัตราการจ่ายปุ๋ยของชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย kg/min		
		ท่อด้านซ้าย	ท่อด้านขวา	รวม
8 cm/90 rpm	25	9.600	14.038	23.638
8 cm/100 rpm	28	10.503	14.798	25.301
9 cm/90 rpm	28	10.141	14.144	24.286
9 cm/100 rpm	30	11.933	15.934	27.868
10 cm/90 rpm	30	11.665	15.567	27.232
10 cm/110 rpm	35	14.490	18.458	32.948



ภาพที่ 4.8 ผลการหว่านปุ๋ยที่ประสิทธิภาพลม 40 Hz

### 4.3 การทดสอบเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับป่าสนน้ำมัน

#### 4.3.1 ทดสอบการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ยตามที่ได้ออกแบบไว้

จากการทดสอบเครื่องหว่านปุ๋ยตามที่ได้ออกแบบ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

- 1) รายละเอียดรถแทรกเตอร์ Landini รุ่น L 8860 ขนาด 80 แรงม้า
- 2) มิติของเครื่องหว่านปุ๋ย ซึ่งสามารถดูได้จากแบบดัดภาคผนวก ข.
- 3) คุณสมบัติของกลไกหว่านปุ๋ย ซึ่งสามารถวัดความเร็วรอบของจานเหวี่ยงขณะทำงานได้

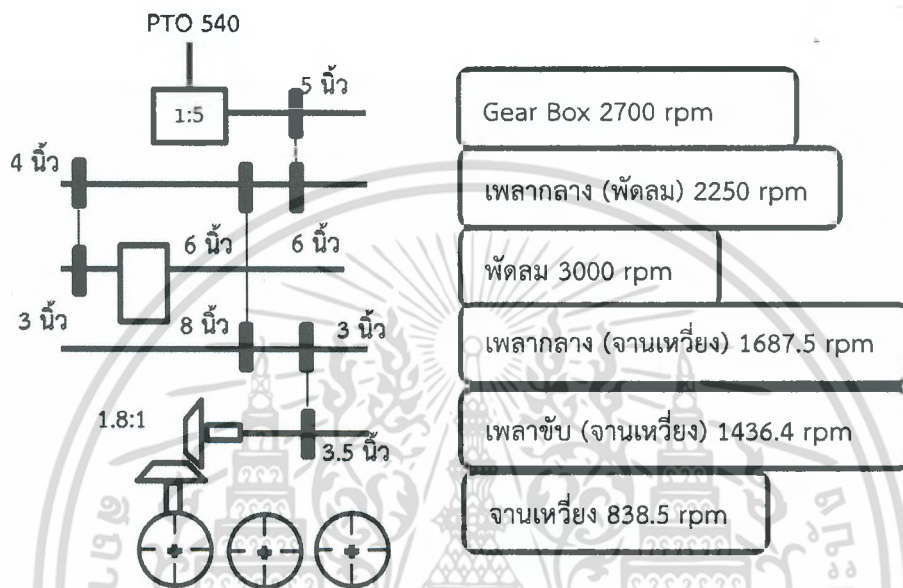
838.5 rpm จากความต้องการ 840 rpm โดยที่แรงเหวี่ยงของปุ๋ยแต่ละชนิด คือ Urea, DAP, MgO จะมีค่าเท่ากับ 32 องศา เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 เห็นได้ว่ามีมุมมากกว่ามุมสิ้นไกลของเม็ดปุ๋ย ส่งผลให้ปุ๋ยไหลผ่านรางเอียงได้สะดวก ในส่วนของกลไกหว่านปุ๋ยด้วยลม เมื่อทำการตรวจสอบความเร็ว และความดันลมที่ปลายท่อทั้งสองด้าน ปรากฏว่ามีค่าความเร็วและความดันลมเท่ากันคือ 23 m/s และ 270 Pa ตามลำดับ

#### 4.3.2 ทดสอบกำลังและเงื่อนไขการฉุดลาก

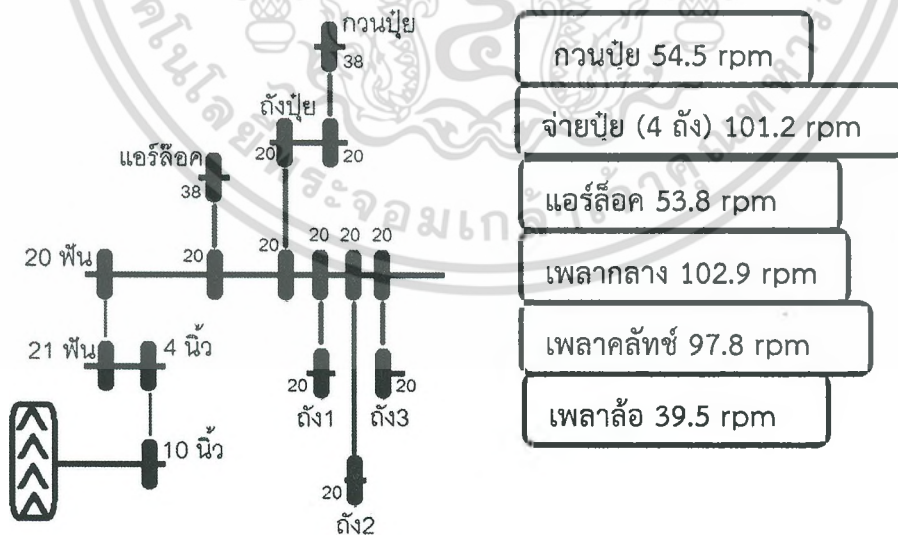
จากการทดสอบกำลังและเงื่อนไขการฉุดลาก สามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) การปรับตั้งรถแทรกเตอร์เพื่อใช้งาน ทำการปรับตั้งที่เกียร์ 2 ตำแหน่งเกียร์คน จะได้ รอบเครื่องยนต์ที่ 1960 rpm ซึ่งเงื่อนไขการปรับตั้งนี้ทำให้ความเร็วทางตรงที่ได้เท่ากับ 5.75 km/hr ความเร็วรอบเพลาคีที่โอทีได้คือ 540 rpm โดยที่จะใช้เงื่อนไขในการปรับตั้งรถแทรกเตอร์ต้นกำลังเพื่อใช้งานไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้ต่อพ่วงกับเครื่องหว่านปุ๋ย เพื่อให้ทำให้ความเร็วรอบของเพลาคีพีที่โอคงที่ตลอดเวลา เนื่องจากเพลาคีพีโอเป็นต้นกำลังหลักในการขับเคลื่อนระบบงานเหยียงและระบบลม ซึ่งจำเป็นต้องมีความเร็วรอบคงที่ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 4.9 ส่วนความเร็วทางตรงของเครื่องหว่านปุ๋ยจากที่ได้มีการออกแบบไว้ที่ 5 km/hr แต่ในการใช้งานจริงที่ 5.5 km/hr ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อใดๆ เนื่องจากความเร็วทางตรงจะสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วรอบของชุดจ่ายปุ๋ยซึ่งสามารถปรับตั้งได้ (ภาพที่ 4.10)



ภาพที่ 4.9 แสดงระบบกำลังจากเพลาคีพีโอ



ภาพที่ 4.10 แสดงระบบกลไกการจ่ายปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ร้อยละการสิ้นไถของล้อรถพ่วง (เครื่องหว่านปุ๋ย) โดยที่หากมีการเปรียบเทียบระหว่างล้อรถพ่วงมีโหลดกับไม่มีโหลดกรณีเป็นพื้นคอนกรีตจะมีร้อยละการสิ้นไถเท่ากับ 0.16 ซึ่งถือว่าน้อยมากและสามารถแสดงค่าต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งหากมีการเปรียบเทียบค่าขณะล้อพ่วงมีโหลดทั้ง 2 พื้นผิวพบว่าร้อยละการสิ้นไถของล้อพ่วงบนแปลงปาล์มน้ำมันมีค่ามากกว่าบนพื้นคอนกรีต เป็นผลทำให้ความเร็วรอบชุดจ่ายปุ๋ยขณะทำงานในแปลงจริง มีค่าน้อยกว่าด้วย

ตารางที่ 4.9 แสดงร้อยละการสิ้นไถของล้อรถพ่วง (เครื่องหว่านปุ๋ย) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

พื้นผิว	ระยะจริง 10 รอบล้อ (m)		ร้อยละการสิ้นไถ		ความเร็วรอบชุดจ่ายปุ๋ย (rpm)	ความเร็วทางตรง (km/hr)
	มีโหลด	ไม่มีโหลด	มีโหลด	ไม่มีโหลด		
คอนกรีต	23.96	24	4.65	4.5	101.2	5.50
แปลงปาล์มน้ำมัน	23.61	23.55	6.05	6.28	101	5.84

หมายเหตุ มีโหลด หมายถึง การใช้ล้อพ่วงของเครื่องหว่านปุ๋ยขับเคลื่อนด้วยชุดจ่ายปุ๋ยทั้งหมด

#### 4.3.3 ทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องหว่านด้วยเงื่อนไขการทำงานในแปลงปาล์มน้ำมัน

จากการทดสอบนี้ทำการศึกษาความคล่องตัวในการทำงานในแปลง (ระยะเวลาในการเลี้ยง) จากตารางที่ 4.10 ก. พบว่าในการเลี้ยงห้วงงานซึ่งมีระยะทาง 40.8 เมตร ใช้เวลาเฉลี่ย 25.04 วินาที การศึกษาร้อยละการสิ้นไถขณะทำงานในแปลง พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีจะมีค่าร้อยละการสิ้นไถเท่ากับ 6.05 (ตารางที่ 4.9) การหาความเร็วทางตรงในการใช้งานในแปลงเท่ากับ 5.84 km/hr (ตารางที่ 4.9) และสุดท้ายในการทดสอบนี้คือ การศึกษา Application rate (kg/ไร่) ของปุ๋ยแต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลงโดยประกอบไปด้วยปุ๋ย Urea, DAP และ MgO เท่ากับ 10.05, 10.77 และ 10.15 kg/rai

ตารางที่ 4.10 ก. แสดงเวลาที่ใช้ในการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ

ปุ๋ย	เที่ยว	ขนาดช่องเปิด (cm)	ความเร็วรอบเพลาจ่ายปุ๋ย (rpm)	เวลาที่เด้งตลอดการทดลอง	ระยะเวลา (วินาที)			
					ทางตรง 50 m	จ่ายปุ๋ยตลอดทาง	Application rate	เที่ยวเดียว
Urea	ไป	7	101	2.22.83	32.09	40.56	32.07	25.5
	กลับ				30.70	39.77	31.80	24.8
DAP	ไป	3	101	2.19.81	31.90	42.20	31.90	25.7
	กลับ				30.20	39.00	29.80	25.34
MgO	ไป	2	101	2.21.57	30.70	44.10	34.30	24.65
	กลับ				29.87	59.00	32.71	25.00
KCl	ไป	8	101	2.20.34	31.21	41.34	32.10	23.97
	กลับ				30.07	40.51	31.87	25.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ข. แสดงระยะทางและน้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบที่เงื่อนไขต่างๆ ดังตารางที่ 4.10 ก.

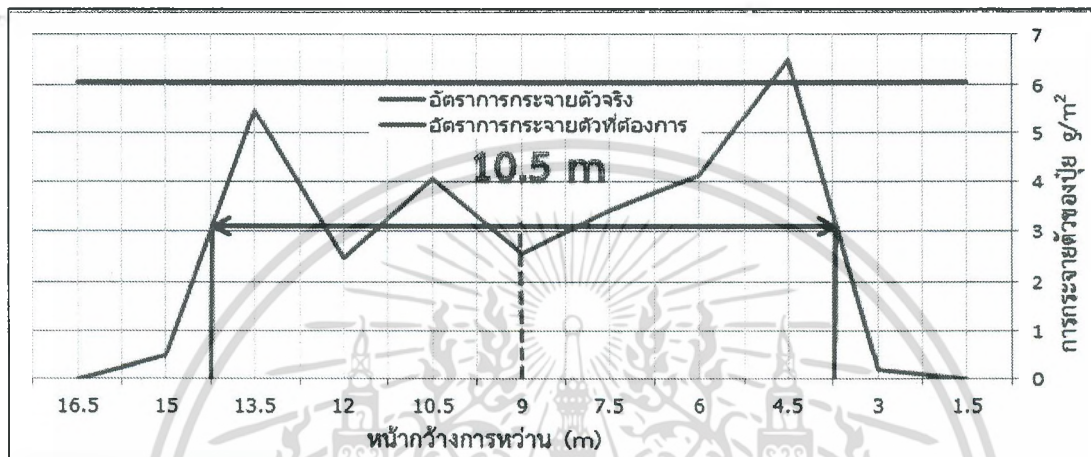
ปุ๋ย	เที่ยว	ระยะทาง (เมตร)			น้ำหนักปุ๋ย (กิโลกรัม)		
		นับรอบ 10 รอบล้อ	จ่ายปุ๋ยตลอดทาง	Application rate	วงเดี่ยว	เต็มถึงปุ๋ย	Application rate
Urea	ไป	23.59	70	50	40.8	100	5.6
	กลับ	23.53	70	50			
DAP	ไป	23.5	70	50	40.8	50	5.5
	กลับ	23.59	70	50			
MgO	ไป	23.75	70	50	40.8	30	5
	กลับ	23.33	70	50			
KCl	ไป	23.47	70	50	40.8	150	-
	กลับ	23.5	70	50			

#### 4.3.4 ทดสอบสมรรถนะการหว่านปุ๋ยในแปลงปาล์มน้ำมัน

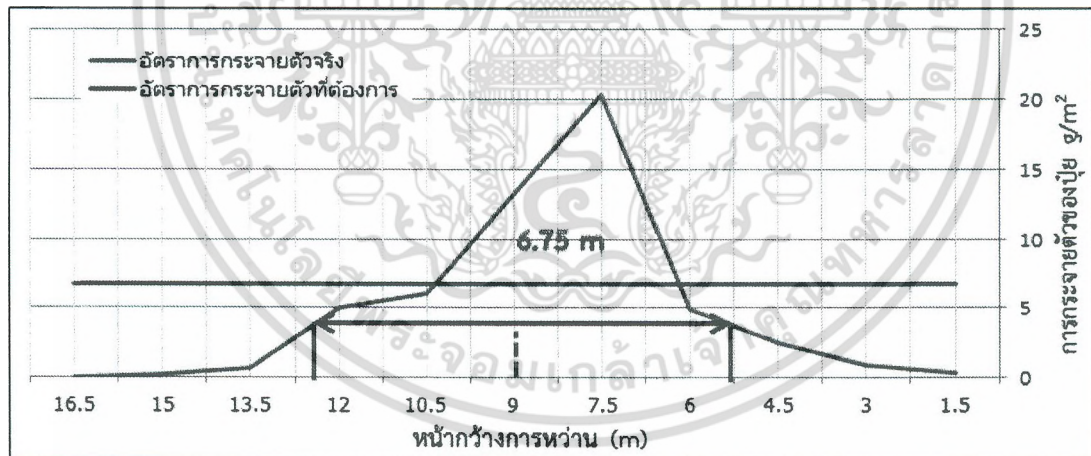
ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะการหว่านปุ๋ยในแปลงปาล์มน้ำมัน ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบเบื้องต้น (ตารางที่ 4.10 ก) พบว่าความสามารถทางไร่ของการหว่านปุ๋ยคือ 55.15 ไร่/ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพทางไร่คือ 96.85 % (ภาคผนวก ก., หน้า 87) ส่วนของความสามารถในการหว่านโดยเฉลี่ยของปุ๋ย Urea, DAP, MgO และ KCl เท่ากับ 2.66, 4.93, 2.89 และ 8.81 g/m<sup>2</sup> ตามลำดับ จากที่ต้องการคือ 6.057, 6.72, 6.46 และ 17.44 g/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่มีผลทำให้ความสามารถในการหว่านต่ำกว่าที่ต้องการอาจจะเป็นเพราะปุ๋ยโดนความชื้น จึงอาจทำให้การจ่ายปุ๋ยต่ำกว่าปกติ ส่วนของความสม่ำเสมอในการหว่าน (% CV of deposit rate หรือ Coefficient of Variation) ของปุ๋ยแต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลง ซึ่งประกอบไปด้วย Urea, DAP, MgO และ KCl คือ 173.28, 155.52, 205.88 และ 147.9 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความแปรปรวนของข้อมูลทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปุ๋ยถูกหว่านลงไปบนแปลงปาล์มน้ำมัน และอยู่บนพื้นที่ที่ต้องการ ทำให้ช่วงที่เหลือข้อมูลเป็นศูนย์ส่งผลให้ข้อมูลมีความแปรปรวนตอนข้างสูง ทั้งนี้ยังมีการศึกษาไปถึงลักษณะการหว่านปรากฏ (Distribution pattern) ของปุ๋ยแต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลงซึ่งถูกกำหนดเงื่อนไขการหว่านปุ๋ยโดยอ้างอิงข้อมูลการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปุ๋ย Urea ซึ่งถูกเลือกมุมปล่อยปุ๋ย 50° จะให้หน้ากว้างการหว่าน 10.5 เมตร (ภาพที่ 4.11) เมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการทดสอบในห้องปฏิบัติการคือ หน้ากว้างการหว่าน 8.3 เมตร (ภาพที่ 4.5 ข) เห็นได้ว่าการทดสอบในแปลงจริงมีหน้ากว้างการหว่านใกล้เคียงกับความต้องการ 13.3 เมตร (ภาพที่ 1.3) ปุ๋ย DAP และ MgO ซึ่งถูกเลือกมุมปล่อย 70° จะให้หน้ากว้างการหว่าน 6.75 เมตรทั้งสองชนิด (ภาพที่ 4.12 และ 4.13) เมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการทดสอบในห้องปฏิบัติการคือ หน้ากว้างการหว่าน 7.2 และ 7.4 เมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 และ 4.7) เห็นได้ว่าการทดสอบในแปลงจริงของปุ๋ยทั้งสองชนิดมีหน้ากว้างการหว่านใกล้เคียงกับความต้องการคือ 6.8 เมตร (ภาพที่ 1.3) และปุ๋ย KCl ซึ่งเป็นการพ่นปุ๋ยผ่านท่อแยกออกไปทั้งสองด้านโดยใช้ระบบลม พบว่า ให้หน้ากว้างการหว่านรวม 10.5 เมตร แบ่งเป็นระยะทางซ้ายตั้งแต่ 2.25-5.63 เมตร, ทางขวาตั้งแต่ 1.125-4.125 เมตร

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ภาพที่ 4.14) ทั้งนี้จากเงื่อนไขที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ หน้ากว้างการหว่านรวม 16.2 เมตร สามารถให้หน้ากว้างการหว่านปุ๋ยด้านซ้ายตั้งแต่ 6-9 เมตร และด้านขวาตั้งแต่ 4.7-7.2 เมตร (ภาพที่ 4.8) จากที่ต้องการหน้ากว้างการหว่าน 18.6 เมตร ด้านละตั้งแต่ 6.3-9.3 เมตร (ภาพที่ 1.3) ซึ่งยังถือว่าไม่ได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการสำหรับการหว่านระบบลม ดังนั้นในการศึกษาต่อไปในอนาคตจึงควรปรับให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อมี่ขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มความเร็วและความดันลมให้สูงขึ้น เพื่อทำการพ่นปุ๋ยออกไปให้ได้ระยะที่ต้องการ

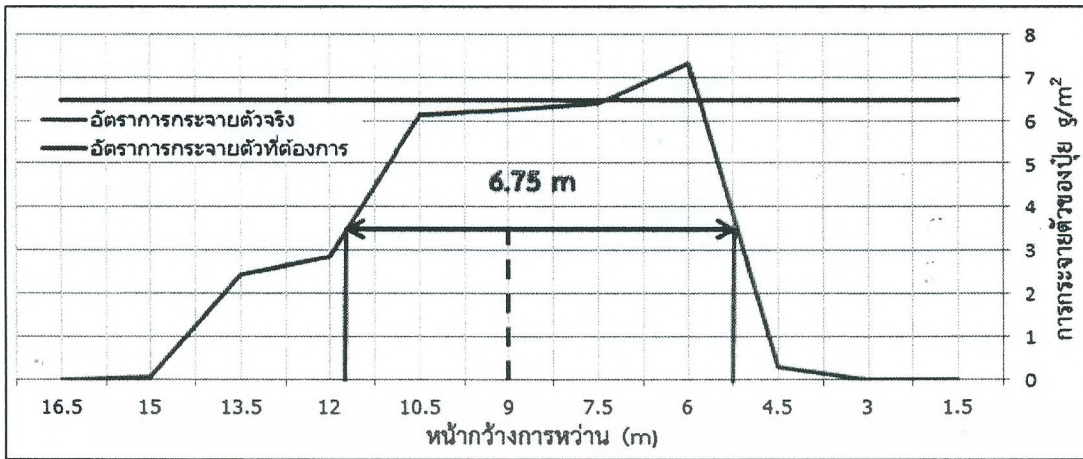


ภาพที่ 4.11 ผลการหว่านปุ๋ย Urea ในแปลงจริงที่มุมปลอยปุ๋ย 50°

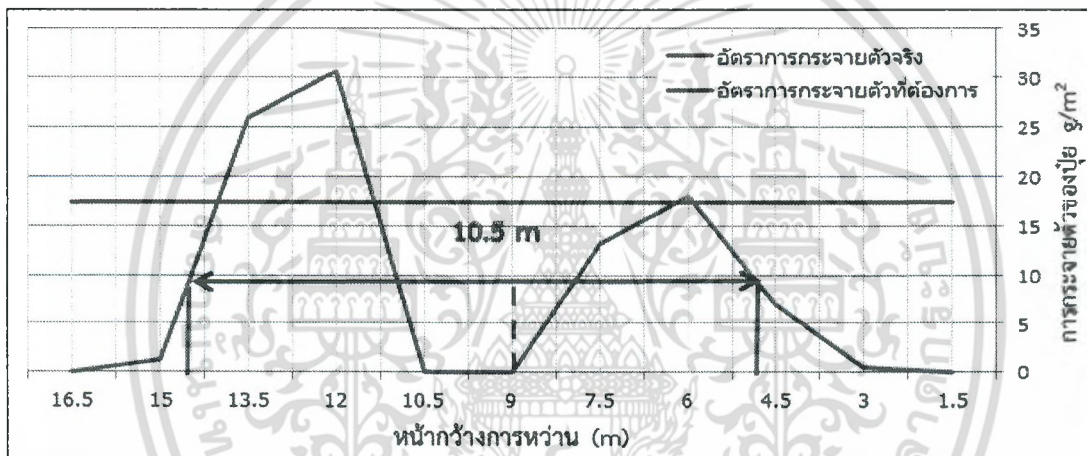


ภาพที่ 4.12 ผลการหว่านปุ๋ย DAP ในแปลงจริงที่มุมปลอยปุ๋ย 70°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 ผลการหว่านปุ๋ย MgO ในแปลงจริงที่มุมปล่อยปุ๋ย 70°



ภาพที่ 4.14 ผลการหว่านปุ๋ย KCl ในแปลงจริงด้วยระบบลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

ได้ออกแบบ และสร้างเครื่องหว่านปุ๋ยแบบ Multi-Fertilizer ชนิดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน โดยได้ทำการประเมินสมรรถนะของเครื่อง พบว่า ความสามารถทางไร่ของการหว่านปุ๋ยคือ 55.15 ไร่/ชั่วโมง มีประสิทธิภาพทางไร่คือ 96.85 % ความสามารถในการหว่านโดยเฉลี่ยของปุ๋ย Urea, DAP, MgO และ KCl เท่ากับ 2.66, 4.93, 2.89 และ 8.81 g/m<sup>2</sup> ตามลำดับ และความสม่ำเสมอในการหว่าน (%CV of deposit rate หรือ Coefficient of Variation) ของปุ๋ยแต่ละชนิดในเงื่อนไขการทำงานจริงในแปลง ซึ่งประกอบไปด้วย Urea, DAP, MgO และ KCl คือ 173.28, 155.52, 205.88 และ 147.9 ตามลำดับ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

##### 5.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของโครงสร้างเครื่องหว่านปุ๋ย

5.2.1.1 งานเหวี่ยง ผลจากการออกแบบโครงสร้างโดยอ้างอิงเงื่อนไขการคำนวณค่าความสูงของงานเหวี่ยงจากพื้น ซึ่งในการออกแบบเครื่องนี้ทำให้ระบบกลไกงานเหวี่ยงอยู่ต่ำกว่าโครงรถ และในการทำงานจริงเกิดปัญหา คือ ชุดเฟืองขับงานเหวี่ยงกระทบกับพื้นในกรณีที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ที่ไม่มี ความสม่ำเสมอ จึงควรมีการออกแบบชุดเฟืองขับงานสูงจากพื้นมากกว่านี้

5.2.1.2 ระบบลม การเลือกโบลเวอร์ที่ขนาดความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 3000 รอบต่อนาที แต่เมื่อเลือกใช้ท่อหลักที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว และท่อแยก 3 นิ้ว ทำให้ความเร็วและความดันลมไม่เพียงพอที่จะส่งปุ๋ยได้ระยะที่ต้องการ ดังนั้นควรปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อให้เล็กลงเพื่อเพิ่มความเร็วและความดันลม

5.2.1.3 ถังปุ๋ย ในการออกแบบนี้เลือกให้มีตัวกวนปุ๋ยแค่ถังเดียวสำหรับปุ๋ย KCl เนื่องจากเกิดการติดขัดขณะทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่ในการทำงานจริงๆ สำหรับถังปุ๋ยอีก 3 ชนิดคือ Urea, DAP และ MgO ควรมีตัวกวนปุ๋ย และด้านในของถังบรรจุปุ๋ยควรมีตะแกรงไว้สำหรับคัดปุ๋ยที่เป็นก้อนไม่ให้หลุดไปที่ชุดกำหนดปริมาณปุ๋ย และถังบรรจุปุ๋ยควรมีฝาปิดเพื่อป้องกันความชื้น

## เอกสารอ้างอิง

- นรุตม์ ข้าเมือง, มงคล แซ่โจ้ว และ ยินดี เหล็กเพชร. 2549. การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยในแปลงปาล์มด้วยลม. ปรินญาณิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 65 น.
- อภิชาติ, พัฒนสรณ์ และ ปรีชา 2548. เครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์ม. ปรินญาณิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 71 น.
- อดิศักดิ์ สุนันดา และ อนุชา วารี. 2551. เครื่องหว่านปุ๋ยโดยใช้งานเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและระบบลม. ปรินญาณิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 80 น.
- ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ ธีระพงศ์ จันทรมนิม. 2551. การจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ ณ ศูนย์การประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์. กรุงเทพฯ วันที่ 12-16 กันยายน 2551.
- ธีระพงศ์ จันทรมนิม. 2550. เทคนิคการจัดการสวนปาล์มน้ำมันให้ได้กำไรสูงสุด. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 7 น.
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, และคนอื่นๆ. 2544. ผลของระดับปุ๋ย P และ K ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 17 น.
- ธีระพงศ์ จันทรมนิม. 2549. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน. สถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 8 น.
- ธีระพงศ์ จันทรมนิม. 2554. อนาคตปาล์มไทยในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 5 น.
- ธีระพงศ์ จันทรมนิม. 2550. อาหารของปาล์ม. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 5 น.
- Chin Fook L. 2005. Mechanical Fertiliser Spreaders for oil palm conditions -Types and costs with emphasis on the TURBO-SPIN air-assisted fertiliser spreader. Seremban Light Industrial Park, Malaysia. 16 p.
- Yenphayab C., Takigawa T. and Kittayapornpong P. 2010. Development of Chemical Fertilizer Applicator for Oil Palm Plantation in Thailand. 69<sup>th</sup> Annual Meeting of The Japanese Society of Agricultural Machinery, September 2010, Ehime, Japan. 8 p.
- Yenphayab C., Takigawa T. and Kittayapornpong P. 2011. Map Based Fertilizer Application by Using 2 Application Methods. 70<sup>th</sup> Annual Meeting of The Japanese Society of Agricultural Machinery, September 2011, Aomori, Japan. 7 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ishola T., Yahya A., Shariff M. and Abd Aziz S. 2011. **A new concept of Variable Rate Technology fertilizer applicator for oil palm.** Department of Biological and Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia. 6 p.

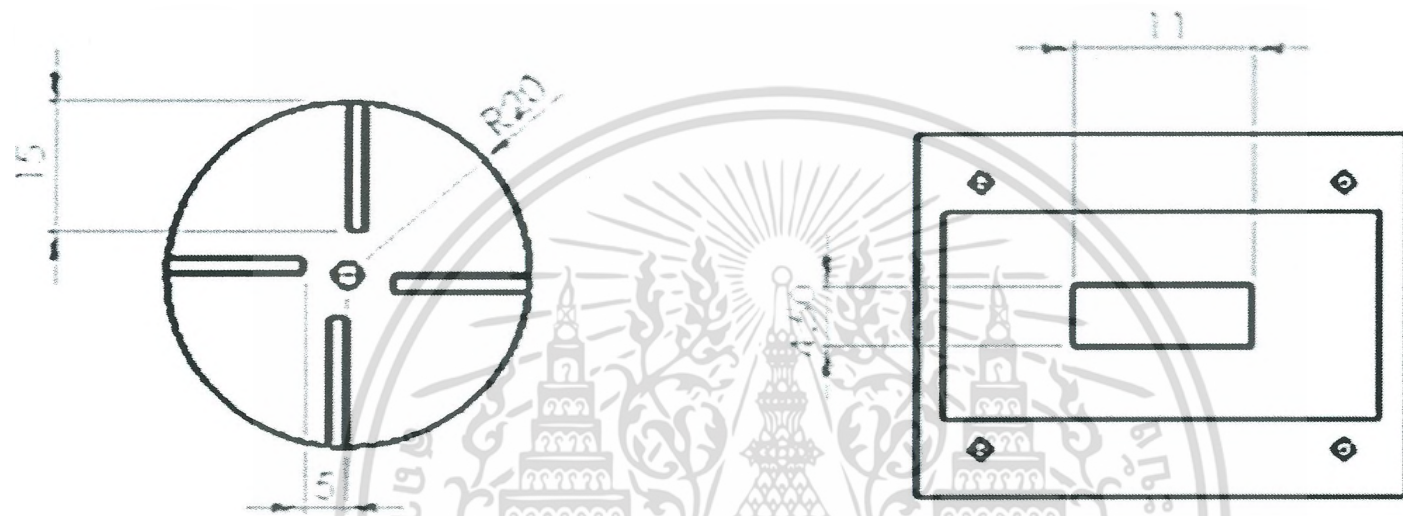


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

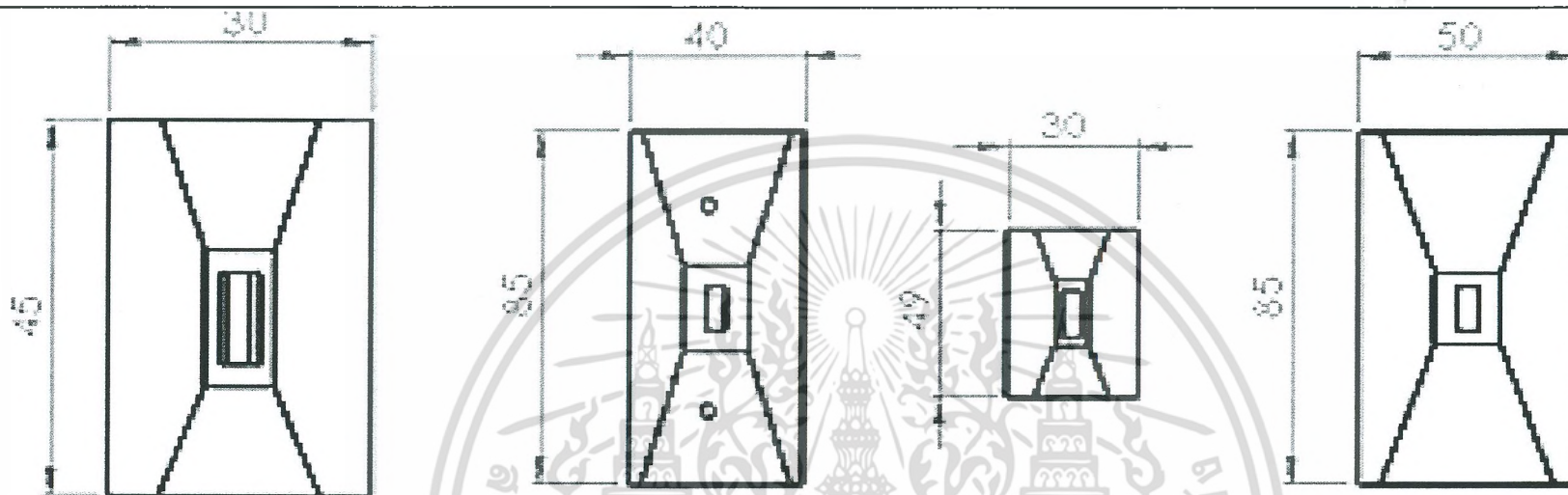


ภาคผนวก ก.  
แบบ Drawing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผู้เขียนแบบ	นาย พรศักดิ์ นนทฤทธิ์	
ผู้ออกแบบ	นาย พรศักดิ์ นนทฤทธิ์	
แผ่นที่ 2	การพัฒนาต้นแบบเครื่องพรวนปุ๋ย Multi-Fertilizer ชนิดต่อหัวรถแทรกเตอร์สำหรับสหกรณ์ชาวนา วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาการเกษตร วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ผู้เขียนแบบ	นาย พรศักดิ์ นนทฤทธิ์	
ผู้ออกแบบ	นาย พรศักดิ์ นนทฤทธิ์	
แผ่นที่ 3	<p>การพัฒนาต้นแบบเครื่องพ่นปุ๋ยแบบ Mix-Fertilizer ชนิดล้อตัวรถบนพรกเตอร์สำหรับสหกรณ์ไผ่หวาน</p>	<p>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร</p>

## ประวัตินักวิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อสกุล ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช  
Dr. Nuttapong Ruttanadech
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. หน่วยงานที่สังกัด หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร  
ที่อยู่ 17/1 ม.6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160  
โทรศัพท์มือถือ 08-0441-0719 E-mail krnuttap@kmitl.ac.th

### 4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ.ที่จบ	ชื่อสถานศึกษาและประเทศ
วศ.ค (วิศวกรรมเกษตร)	2553	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย
วศ.ม (วิศวกรรมเกษตร)	2547	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย
วศ.บ (วิศวกรรมเกษตร)	2543	มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประเทศไทย

### 5. ประวัติการทำงาน

ปี	ตำแหน่ง	หน่วยงาน
2551-ปัจจุบัน	อาจารย์	หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

### 6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- เครื่องจักรกลเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตเกษตร
- เครื่องจักรกลแปรรูปผลผลิตเกษตร

### 7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

7.2.1 การพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศสำหรับกล้วยเล็บมือนางที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก

7.2.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันแบบต่อพ่วงรถแทรกเตอร์

7.3 งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

7.3.1 สิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร

- เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน เลขที่ 22595 วันที่ 27 กันยายน 2550

- เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ เลขคำขอสิทธิบัตร 0701002091

### 7.3.2 ผลงานเผยแพร่ระดับนานาชาติ

- [1] Bundit Jarimopas and Nuttapon Ruttanadat.2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. Journal of Food Engineering, 79 (2007) 752-757.
- [2] Bundit Jarimopas, Nuttapon Ruttanadat and Anupun Terdwongworakul. An automatic trimming machine for young coconut fruit. Biosystems Engineering Journal.103 (2009) 167-175.

### 7.3.3 ผลงานเผยแพร่ระดับชาติ

- [1] บัณฑิต จริโมภาส, จีรวรรณ มณีโรจน์ และณัฐพงศ์ รัตนเดช.2546.การใช้ NIR คัดแยกสีของผลมะเขือเทศ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่10 ฉบับที่ 1 หน้า 44-49.
- [2] ณัฐพงศ์ รัตนเดช และ บัณฑิต จริโมภาส. 2549. อิทธิพลของความถี่สั่นพ้องและวิธีการบรรจุหีบห่อต่อความชื้นของผลแอ็บเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 37 ฉบับที่ 5 (พิเศษ). หน้า 292-295.
- [3] ณัฐพงศ์ รัตนเดช และบัณฑิต จริโมภาส. 2551. ลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่สัมพันธ์ต่อการออกแบบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9. โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่, 31 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2551. 203 หน้า
- [4] ณัฐพงศ์ รัตนเดช, จริงแท้ ศิริพานิช, บัณฑิต จริโมภาส และ ศักดา จันทร์ทอง. 2551. สมบัติความต้านทานแรงดึงของเชือกกล้วยนวลกับกล้วยน้ำว้า. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 547-549.
- [5] ณัฐพงศ์ รัตนเดช และ บัณฑิต จริโมภาส. 2553. เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-เมษายน. หน้า 405-408.
- [6] ณัฐพงศ์ รัตนเดช ทรงธรรมไชยพงษ์ พิรุยุทธ นิกอนันต์ และทะนงศักดิ์ มะลิพรม. 2553. การพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศสำหรับกล้วยเล็บมือนางที่มีประสิทธิภาพสูงราคาถูก. การประชุมวิชาการระดับชาติ เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ประจำปี 2553. หน้า 397-401.
- [7] ณัฐพงศ์ รัตนเดช ชีรโชติ ชินวงศ์ และยุรนนท์ ดอนสิทธิ์. 2554.เครื่องบีบน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (แบบบีบเย็น) และกรรมวิธีการเตรียมเนื้อมะพร้าวเพื่อการผลิต. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-เมษายน. หน้า 545-547.
- [8] ณัฐพงศ์ รัตนเดช ก้องเกียรติ เต็มสุข วิทยา บรรพชาติ และ ปิยะดา ทวีขศรี. 2554. ผลิตภัณฑ์เนื้อหุ้มควินจากตู้อบรมควินชนิดดูดกลับอากาศร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 777-780.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] ญัฐพงศ์ รัตนเดช วิชัย สังข์แก้ว และ ชาตรี ฐานขารี. 2555. เครื่องฝานกล้วยเล็บมือนางบนกระทะทอด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 204-207.
- [10] ญัฐพงศ์ รัตนเดช กนกวรรณ ยะโกบ คณาวุฒิ รัชตจิรสกุลชัย และ ชาญณรงค์ เขียวใหญ่. 2555. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกวัสดุเกษตร (กล้วยเล็บมือนางและทุเรียน) ในจังหวัดชุมพร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 216-219.
- [11] ญัฐพงศ์ รัตนเดช กิตติวุฒิ จันเปี่ยม นิรัตศัย เข็มบุปผา และ พนิดา ครรชิตชัยวาร. 2555. ตู้อบลมร้อนร่วมไมโครเวฟสำหรับอบกล้วยเล็บมือนาง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 220-223.

### ผู้ร่วมโครงการวิจัย

#### 1. ชื่อ นายจรรัชชัย เย็นพยับ

Mr.Charatchai Yenphayab

#### 2. เลขหมายประจำตัวประชาชน

#### 3. ตำแหน่ง อาจารย์เทียบเท่าระดับ 4

#### 4. หน่วยงานที่สังกัดและที่อยู่

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 วิทยาเขตชุมพร ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160  
 โทรศัพท์ 0-7750-6428 โทรสาร 0-7750-6434  
 E-mail address : [kycharat@kmitl.ac.th](mailto:kycharat@kmitl.ac.th)

### 5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
โท	วศ.ม.	วิศวกรรมเกษตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเกษตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย

#### 5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ

เครื่องจักรกลเกษตร โดยเฉพาะเครื่องหยอดเมล็ด

#### 6. ประสบการณ์เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

English(ประชุมวิชาการนานาชาติ)

Yenphayab C, Benjapragairat.J and Kingthong S. 2003. Design and Development of a Garlic Planter in Thailand. Proceedings of the International Workshop 2003 on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 theme” Agricultural Engineering and Agro-Products Processing Toward  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanization and Modernization in Agriculture and rural areas”. December 11-12, 2003. Ho Chi Minh City – VIETNAM.

Benjaphragairat, J. Kingthong S and **Yenphayab C.** 2004. Design and Modification of a Bucket for Metering System in Garlic Planter. In Proceeding of the second International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Bio-systems Engineering. September 21-23, 2004. Kobe University, Japan.

**Yenphayab C,** Kingthong S and Benjapragairat J . 2005. Design of Pellet Fish Spreader. Proceedings of the International Workshop 2005 on theme “ Strengthening the Application of Agricultural Engineering and Post-harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production”. December 13-14, 2005 Hanoi – VIETNAM.

Praditsuwan S, **Yenphayab C,** Kingthong S and Benjapragairat J. 2005. The 8-rows Garlic Planter installed with 5-HP Engine Power Tiller. Proceedings of the International Workshop 2005 on theme “ Strengthening the Application of Agricultural Engineering and Post-harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production”. December 13-14, 2005 Hanoi – VIETNAM.

**Yenphayab C** and Krittiyapornpong P. 2007. Design of Fertilizer Broadcasting Attached to Small Tractor for Oil Palm Plantation. Proceedings of the International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology. January 21-24, 2007. Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand.

**Yenphayab C,** Krittiyapornpong P. and Prof.Takigawa Tomohiro Development of Chemical Fertilizer Applicator for Oil Palm Plantation in Thailand . Proceeding of International Conference Japanese Society of Agricultural Machinery July 2010, JAPAN

#### Thai(ประชุมวิชาการในประเทศ)

**Yenphayab C,** Benjapragairat.J and Kingthong S. 2003. Study and Experimental of 5 types Metering Device for Garlic Planter. Proceedings of Thai Society of Agricultural Engineering(TSAE) Annual Conference 4<sup>th</sup> , Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

**Yenphayab C,** Benjapragairat.J and Kingthong S. 2004. Design and Development of a Garlic Planter Attached to 5 HP Engine Power Tiller. Proceedings of Thai Society of Agricultural Engineering(TSAE) Annual Conference 5<sup>th</sup> , Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

**Yenphayab C,** Benjapragairat.J and Kingthong S. 2005. Design and Development of a Garlic Planter Attached to 5 HP Engine Power Tiller. Proceedings of Thai Society of Agricultural Engineering(TSAE) Annual Conference 6<sup>th</sup> , Miracle Grand Hotel, Bangkok, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yenphayab C and Krittiyapornpong P. 2007. The Study of Factors Affecting the Rolling Mechanism to Form Pellet Manure. Proceedings of Thai Society of Agricultural Engineering(TSAE) Annual Conference 8<sup>th</sup> , January 21-24, 2007. Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand.

Yenphayab C and Krittiyapornpong P. 2008. Design of Pneumatic Conveyer-Fertilizer Distributor for Oil Palm Plantation. Proceedings of Thai Society of Agricultural Engineering(TSAE) Annual Conference 9<sup>th</sup> , January 31- February 1, 2008. Imperial Mae Ping Hotel, Chiangmai, Thailand.

### ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ นายพงษ์ศักดิ์ กฤตยพรพงษ์

Mr.Pongsak Krittiyapornpong

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน

3. ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตร 5

4. หน่วยงานที่สังกัดและที่อยู่

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพร ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว

จังหวัดชุมพร 86160

โทรศัพท์ 0-7750-6428 โทรสาร 0-7750-6434

โทรศัพท์เคลื่อนที่ 0-9723-6088

E-mail address :

### 5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา(ตรี โท เอก และ ประกาศนียบัตร)	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน	ประเทศ
2525	ปริญญาตรี	วศบ. วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	วิศวกรรมเกษตร	-	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

### 6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ

เครื่องจักรกลเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้