การออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุน สำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว

นางสาวกันญา โกสุมภ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

DESIGN AND DEVELOPMENT OF MANURE FERTILIZER APPLICATOR EQUIPPED WITH ROTARY TILLER FOR PADDY FIELD TILLAGE

Kanya Kosum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุน
สำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)
ประธานกรรมการ

_____

(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ผศ. ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

_____ _____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์) (รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กันญา โกสุมภ์ : การออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว (DESIGN AND DEVELOPMENT OF MANURE FERTILIZER APPLICATOR EQUIPPED WITH ROTARY TILLER FOR PADDY FIELD TILLAGE) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สามารถ บุญอาจ, 141 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการดำเนินการออกแบบ สร้างและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกให้สามารถทำงานพร้อมกับจอบหมุนเพื่อใช้เตรียมดินในนาข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการบดอัดดินโดยลดจำนวนครั้งของการวิ่งผ่านหน้าดินให้น้อยลง ปุ๋ยคอกที่ใช้ทดลองมีความชื้น 15% ตัวแปรในการทดลอง คือ จำนวนใบกวาดปุ๋ย (4, 6, 8 ใบ) และรูปร่างของใบกวาด (รูปทรงตัวตรง รูปทรงตัวแอล รูปทรงตัวซี) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบชุดจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกเพื่อหาจำนวนใบกวาด และรูปร่างของใบกวาดที่เหมาะสม และการทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อหาความสามารถในการทำงาน อัตราการโรยปุ๋ยคอก และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประสิทธิภาพในการทำงานต่อพื้นที่ จุดคุ้มทุน และอัตราผลตอบแทนในการทำงานของเครื่อง

ผลการทดสอบชุดจำลอง พบว่า ปุ๋ยคอกสามารถเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อใช้ใบกวาดแบบ 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี ส่วนผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ พบว่า ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 2 ต่ำ (1.67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เป็นความเร็วที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องต้นแบบ คือ มีความสามารถในการทำงาน 0.91 ไร่ต่อชั่วโมง ความสามารถในการโรยปุ๋ยต่อพื้นที่ 693.33 กิโลกรัมต่อไร่ ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ 630.93 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3.38 ลิตรต่อไร่ ประสิทธิภาพในการทำงานต่อพื้นที่ 58% เพราะที่ความเร็วในการเดินรถดังกล่าวสามารถจ่ายปุ๋ยคอกได้ในปริมาณเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมดินปลูกข้าวในแปลงนา โดยที่จุดคุ้มทุนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้เครื่องต้นแบบที่ 47 ไร่ต่อปี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

KANYA KOSUM : DESIGN AND DEVELOPMENT OF MANURE FERTILIZER APPLICATOR EQUIPPED WITH ROTARY TILLER FOR PADDY FIELD TILLAGE. THESIS ADVISOR : SAMART BUN - ART, Ph.D., 141 PP.

MANURE APPLICATOR/ROTARY/PADDY FIELD TILLAGE

This research is the design, build and develop of a prototype of manure applicator with rotary and regulator to use on soil preparation of paddy field. The main objective is to reduce the number of passes on the field in order to prevent soil compaction. In this study manure at 15% moistures were used. Parameter in this study were number of plates (4, 6 and 8) and plate shape (straight, C-shaped and L-shaped). The study was divided into two steps. Firstly, a model was built which holds a regulator and tests it for properly number of plates and plate shape. Secondly, to tests the prototype for field capacity, rate of fertilizer spread and fuel consumption. Work efficiency per area, break even point and the rate of return to work.

The results from the model test shown that the C-shaped and 6 plate regulator is the best type. The results of the tests on the prototype. Found that the speed of movement of the tractor transmission 2 low (1.67 km / hr). As high as in the prototype. The field capacity were 0.91 rai / hr. The ability to fertilize the area of 693.33 kg / rai. Ability to work in a real 630.93 kg / hr. The fuel consumption rate 0f 3.38 litres / rai respectively. Work efficiency per area 58%. Because the speed of the vehicle. Afford fertilizer in the proper amounts. Break even point is 47 rai per year

School of Mechanical Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2012 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ความสำเร็จลุล่วงด้วยดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดขึ้นมิได้ ถ้าหากไม่ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ ดร.สามารถ บุญอาจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ ความช่วยเหลือคำปรึกษา และชี้แนวทางในการทำวิจัย รวมถึงคอยกระตุ้นให้กำลังใจ จนทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจในการฟันฝ่าอุปสรรคต่าง ๆ จนผ่านไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความเมตตาของท่าน

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ด้านวิชาการตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความรู้ในด้านวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์ทยาวีร์ หนูบุญ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน น้ำสำรอง ขอหน่วงกลาง และพี่สายรุ้ง ฉิมสุวรรณ เจ้าหน้าที่ประจำสาขา ที่ให้ความรู้ ข้อคิดในมุมที่ผู้วิจัยมองข้ามและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย พี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกคนที่ลาดกระบัง โดยเฉพาะ เพื่อนโจ สำหรับคำปรึกษาที่ดีในวันที่คิดอะไรไม่ออก รวมถึงนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร และโปรแกรมวิชาช่างกลเกษตร ที่คอยช่วยทำการทดลองจนเสร็จสิ้น

ขอขอบคุณ พี่บอล และพี่พร สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในการวิเคราะห์งาน พี่เปิ้ล พี่ติ๋ว สำหรับทุกความช่วยเหลือ ที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการได้ด้วยความสะดวกและราบรื่นด้วยดี

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อแถว คุณแม่จีบ พี่ปุ๊ และพี่ต๋อง ที่เป็นกำลังใจ เป็นพลังวิเศษที่สำคัญที่สุด ที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมในเรื่องการศึกษาเป็นอย่างดี ผู้วิจัยรู้สึกสำนึกในความเสียสละของท่านมาโดยตลอด

กันญา โกสุมภ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเตรียมดินทำนาข้าว 5
2.1.1 จุดประสงค์ที่สำคัญในการเตรียมดิน 5
2.1.2 ขั้นตอนการเตรียมดินสำหรับทำนา 5
2.1.3 การปลูกข้าว 7
2.1.4 การใช้ปุ๋ยในนาข้าว 8
2.1.5 ปุ๋ยคอก 10
2.1.6 จอบหมุน 14
2.1.7 เครื่องโรยปุ๋ย 17
2.1.8 การอัดตัวแน่นของดิน 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2 การวิเคราะห์ต้นทุน 22
2.2.1 วิธีการคิดต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลและต้นทุนคงที่ 22
2.2.2 Break Even Point 23
2.2.3 ระยะเวลาในการคืนทุน 24
2.2.4 การคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย 24
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
3 วิธีดำเนินการวิจัย 27
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น 27
3.1.1 วิธีการไถเตรียมดินในนาข้าวและการใส่ปุ๋ยคอก 27
3.1.2 ขนาดของปุ๋ยคอก 27
3.1.3 รถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง 28
3.2 การสร้างชุดจำลอง 28
3.2.1 เกณฑ์ในการออกแบบกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอก 28
3.2.2 วิธีดำเนินการวิจัยเพื่อทดสอบการทำงานของชุดจำลอง 33
3.3 การออกแบบเครื่องต้นแบบ 34
3.3.1 เกณฑ์ในการออกแบบถังบรรจุปุ๋ยคอก 34
3.3.2 การคำนวณเกี่ยวกับถังบรรจุปุ๋ยคอก 34
3.3.3 วิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องโรยปุ๋ยคอกด้วย
โปรแกรม Simulation 37
3.4 การสร้างเครื่องต้นแบบ 38
3.5 การทดสอบ 38
3.5.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ 38
3.6 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ 40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 41
4.1 ผลการทดลองหาขนาดของปุ๋ยคอก 41
4.2 ผลการทดสอบชุดจำลองเพื่อหารูปร่างและจำนวนของ
ใบกวาดปุ๋ยคอกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับเครื่องต้นแบบ 43
4.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องต้นแบบ 45
4.3.1 ผลการวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วงของเครื่องต้นแบบ 45
4.3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยคอก 46
4.3.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของขาตั้งถังบรรจุของ
เครื่องต้นแบบ 48
4.3.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของใบกวาดของ
เครื่องต้นแบบ 51
4.3.5 ผลการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติของเครื่องต้นแบบ 52
4.4 ผลการสร้างเครื่องต้นแบบ 57
4.5 ผลการทดสอบภาคสนามของเครื่องต้นแบบ 58
4.5.1 การทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ 58
4.5.2 การทดสอบแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ก่อนและ
หลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ 61
4.5.3 กำลังที่สูญเสียเนื่องจากการติดตั้งเครื่องต้นแบบ 63
4.5.4 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ 64
4.5.5 แสดงผลของความหนาแน่นของดินสภาพแห้ง
ภายหลังการบดอัด 70
4.6 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 71
4.6.1 การกำหนดราคาขายต่อหน่วยของเครื่องต้นแบบ 71
4.6.2 การหาปริมาณพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำงาน
ของเครื่องต้นแบบต่อปี 71
4.6.3 การหาระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องต้นแบบ 71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 72
5.1 สรุปผลการวิจัย 72
5.2 ข้อเสนอแนะ 73
รายการอ้างอิง 75
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 78
ภาคผนวก ข. รูปประกอบการทดสอบ 89
ภาคผนวก ค. การคำนวณเกี่ยวกับผลการทดสอบ 104
ภาคผนวก ง. การคำนวณหาจุดคุ้มทุนและอัตราผลตอบแทน 120
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 124
ประวัติผู้เขียน 141

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักเฉลี่ยในปุ๋ยคอกแต่ละชนิด 12
2.2 ผลการใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 1,600 กิโลกรัม เป็นเวลา 5 ปี
ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน 12
2.3 ความหนาแน่นของปุ๋ยอินทรีย์ 14
2.4 แสดงค่าคงที่ของดินสำหรับการพยากรณ์การบดอัดดิน 20
4.1 ขนาดของปุ๋ยคอกที่ถูกคัดแยกด้วยตะแกรงร่อน 42
4.2 แสดงความสามารถในการกวาดปุ๋ยคอกของใบกวาด
ที่ความชื้นของปุ๋ยคอก 15% (db) 44
4.3 แสดงความถี่ธรรมชาติ 5 โหมดแรกที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 53
4.4 การกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากการทำงานของเครื่องโรยปุ๋ยคอกฯ 60
4.5 ความสามารถในการฉุดลากของรถแทรกเตอร์ 62
4.6 แสดงผลการทดลองเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ 65
ก.1 แสดงข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ย
ด้วยโปรแกรม CosmosXpress 79
ก.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทำถังบรรจุปุ๋ยคอก 80
ก.3 ข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของใบกวาดปุ๋ย
ด้วยโปรแกรม CosmosXpress 83
ก.4 ข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ย
ด้วยโปรแกรม CosmosXpress 85
ก.5 ข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของใบกวาดปุ๋ย
ด้วยโปรแกรม CosmosXpress 87
ค.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ 105
ง.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเกษตรกรในการเตรียมดิน
ปลูกข้าวบนพื้นที่ 1 ไร่ 123

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงการไถดะ 6
2.2 แสดงการไถแปร 6
2.3 แสดงการคราดนา 7
2.4 การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว 10
2.5 มูลวัวในคอก 11
2.6 การใส่ปุ๋ยคอก 13
2.7 จอบหมุนติดรถแทรกเตอร์ 15
2.8 จุดต่อพ่วงมาตรฐานแบบ 3 จุด และเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ 16
2.9 แสดงการทำงานของจอบหมุนที่ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ 17
2.10 แสดงชั้นดินต่าง ๆ 18
2.11 แสดงความสัมพันธ์ต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลกับปริมาณงานต่อปี 23
3.1 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 4 ใบ ชนิดรูปทรงตัวตรง 29
3.2 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 4 ใบ ชนิดรูปทรงตัวแอล 39
3.3 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 4 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี 30
3.4 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวตรง 30
3.5 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวแอล 31
3.5 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี 31
3.7 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 8 ใบ ชนิดรูปทรงตัวตรง 32
3.8 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 8 ใบ ชนิดรูปทรงตัวแอล 32
3.9 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบใบตรง 8 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี 33
3.10 ตัวอย่างถังบรรจุปุ๋ยคอก 36
3.11 ตัวอย่างเครื่องต้นแบบ 37
3.12 แสดงตัวอย่างช่องเก็บตัวอย่างการกระจายปุ๋ยจากเครื่องต้นแบบ 40
4.1 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่ได้จากชุดแยกขนาด 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.2 แสดงการกระจายตัวของปุ๋ยคอกที่ใช้ทดสอบ 43
4.3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการกวาดปุ๋ยคอก
ของใบกวาดลักษณะต่าง ๆ 44
4.4 แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของเครื่องต้นแบบ 46
4.5 แสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นกับถังบรรจุปุ๋ยจากการ
คำนวณด้วยโปรแกรม 47
4.6 แสดงผลของระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นกับถังบรรจุ
ปุ๋ยจากการคำนวณด้วยโปรแกรม 48
4.7 แสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นกับขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 49
4.8 แสดงผลของระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นกับขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 50
4.9 แสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นกับใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ
จากาการคำนวณด้วยโปรแกรม 51
4.10 แสดงถึงผลของระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นกับใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 52
4.11 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 1 ของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 53
4.12 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 2 ของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 54
4.13 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 3 ของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 54
4.14 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 4 ของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 55
4.15 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 5 ของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม 56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.16 แสดงเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จและทำการติดตั้งเรียบร้อย 57
4.17 แสดงเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ 58
4.18 แสดงการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ 59
4.19 แสดงผลของการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ 61
4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ 62
4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถจริงในการทำงานต่อ พื้นที่ของเครื่องต้นแบบ 66
4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกของ เครื่องต้นแบบ 67
4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ ของเครื่องต้นแบบ 68
4.24 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของ เครื่องต้นแบบ 69
4.25 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องต้นแบบ 70
ก.1 แสดงตำแหน่งของแรงที่กระทำต่อถังบรรจุปุ๋ยคอก 80
ก.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้น 81
ก.3 แสดงผลการวิเคราะห์ Displacement 81
ก.4 แสดงผลการวิเคราะห์ Deformation 82
ก.5 แสดงผลการวิเคราะห์ Design Check 82
ก.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นของใบกวาดปุ๋ยคอก 83
ก.7 แสดงผลการวิเคราะห์ Displacement ของใบกวาดปุ๋ยคอก 84
ก.8 แสดงผลการวิเคราะห์ Deformation ของใบกวาดปุ๋ยคอก 84
ก.9 แสดงผลการวิเคราะห์ Design Check ของใบกวาดปุ๋ยคอก 85
ก.10 แสดงการแบ่ง Mesh ของถังบรรจุและแรงที่กระทำต่อถังบรรจุ 86
ก.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของถังบรรจุภายหลังได้รับแรงกระทำ 86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ก.12 แสดงถึงความปลอดภัยของการออกแบบจากการคำนวณ 87
ก.13 แสดงการแบ่ง Mesh ของใบกวาดปุ๋ยและแรงที่กระทำต่อใบกวาดปุ๋ย 88
ก.14 แสดงถึงความปลอดภัยของการออกแบบจากการคำนวณ 88
ข.1 แสดงตะแกรงแยกขนาดปุ๋ยคอก 90
ข.2 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่ไม่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.10 90
ข.3 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.10 91
ข.4 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.18 91
ข.5 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.35 92
ข.6 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.60 92
ข.7 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.140 93
ข.8 แสดงเครื่องมือทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของปุ๋ยคอก 93
ข.9 แสดงการบรรจุปุ๋ยคอกลองในชุดทดสอบ 94
ข.10 แสดงการทดสอบความสามารถของใบกวาดปุ๋ยในชุดทดสอบ 94
ข.11 แสดงทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ 95
ข.12 แสดงการแบ่งพื้นที่การกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ 95
ข.13 แสดงสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยคอกจากการทดสอบกระจายตัวของปุ๋ยคอก
จากเครื่องต้นแบบ 96
ข.14 แสดงการชั่งน้ำหนักปุ๋ยคอกที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างการกระจายตัว
ของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ 96
ข.15 แสดงด้านข้างของเครื่องต้นแบบที่ติดตั้งเรียบร้อย 97
ข.16 แสดงตัวบังคับการเปิด – ปิด ช่องจ่ายปุ๋ยในเครื่องต้นแบบ 97
ข.17 แสดงการ์ดครอบสายพานส่งกำลังในเครื่องต้นแบบ 98
ข.18 แสดงเทปุ๋ยคอกลงในถังบรรจุปุ๋ยที่เครื่องต้นแบบ 98
ข.19 แสดงลักษณะการไหลของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ 99
ข.20 แสดงลักษณะการไหลของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ 99
ข.21 แสดงการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ 100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ข.22 แสดงการปรับแต่งเครื่องในระหว่างการทดสอบในแปลงทดสอบ 100
ข.23 แสดงการวัดขนาดพื้นที่ในแปลงทดสอบ 101
ข.24 แสดงการวัดพื้นที่ในแปลงทดสอบ 101
ข.25 แสดงการทดสอบการฉุดลากในแปลงทดสอบ 102
ข.26 แสดงลักษณะของดินก่อนการทำงานของเครื่องในแปลงทดสอบ 102
ข.27 แสดงลักษณะของดินหลังการทำงานของเครื่องในแปลงทดสอบ 103
ข.28 แสดงลักษณะของดินก่อน – หลังการทำงานของเครื่องในแปลงทดสอบ 103

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C_m	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
C_t	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
d	=	เส้นผ่าศูนย์กลางเพลา
g	=	อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก
J	=	โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่
τ	=	ความเค้นเฉือนใช้งาน
n_c	=	ความเร็ววิกฤตของเพลา
M	=	โมเมนต์ดัด
m	=	มวลของปุ๋ยคอก
n_1	=	ความเร็วรอบเฟืองโซ่ขับ
n_2	=	ความเร็วรอบเฟืองโซ่ตาม
n_c	=	ความเร็ววิกฤตของเพลา
ρ	=	ความหนาแน่นของปุ๋ยคอก
r	=	$\frac{d}{2}$
T	=	โมเมนต์บิด
V	=	ปริมาตรของปุ๋ยคอก
w	=	น้ำหนักของปุ๋ยคอก
W_1	=	แรงที่กระทำต่อเพลา
y	=	ระยะโก่งของเพลา
D_1	=	ค่าเสื่อมราคาต่อปี
P_1	=	ราคาแรกซื้อ
S	=	ราคาเมื่อหมดอายุหรือราคาขาย
L	=	อายุการใช้งาน
PBP	=	ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักร
R	=	กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

x	=	ปริมาณพื้นที่ที่เหมาะสมในการเป็นเจ้าของเครื่องจักร
FC	=	ค่าใช้จ่ายคงที่ของเครื่องจักร
B	=	อัตราค่าจ้าง
VC	=	ค่าใช้จ่ายผันแปร
L_a	=	ความยาวของสายพาน
C	=	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของมู่เล่ย์
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ย์ขับ
d_1	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ย์ตาม
E_f	=	ประสิทธิภาพในการทำงาน
T_e	=	เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง
T_t	=	เวลาที่เครื่องจักรใช้ในการปฏิบัติงานทั้งหมด รวมทั้งเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการเลี้ยว การหยุด และการปรับตั้งเครื่องจักร
C_a	=	ความสามารถในการทำงานจริง
A	=	พื้นที่ในการทำงาน
T_t	=	เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด
γ_d	=	ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง ภายหลังการบดอัด
γ_0	=	ความหนาแน่นดินสภาพแห้งเริ่มต้น ก่อนการบดอัดดิน
A_1, B_1	=	ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดดินและปริมาณความชื้นของดิน
N	=	จำนวนครั้งของการใส่แรงกระทำซ้ำ
P	=	ความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบดอัดดินของล้อยาง
P_0	=	ความดันผิวสัมผัสก่อนการบดอัดดิน
W	=	ความชื้นในดินโดยน้ำหนัก
V_S	=	ความเร็วในการลื่นไถลที่ด้านล่างของล้อยางบนพื้นดิน
V_W	=	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของล้อยาง

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย จากข้อมูลของสมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเปลือกได้ 31.132 ล้านตัน มีการส่งออกข้าวสาร 2.2 ล้านตัน (1 ม.ค.-8 เม.ย.) ซึ่งปัจจุบันทั่วโลกมีปริมาณความต้องการข้าวเพื่อการบริโภคประมาณ 417.7 ล้านตันต่อปี ถือเป็นปริมาณที่สูงมาก เมื่อเทียบกับสินค้าเกษตรชนิดอื่น ๆ หากประเทศไทยสามารถเพิ่มปริมาณการส่งออกข้าวได้มากขึ้น ด้วยการที่สามารถเพิ่มผลผลิตต่อไร่ และการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตต่อไร่ได้โดยที่ยังคงมีพื้นที่การผลิตเท่าเดิม จะส่งผลให้ข้าวเป็นสินค้าเกษตรที่ช่วยเพิ่มเงินรายได้ให้กับประเทศไทยสูงขึ้นจากเดิม โดยปกติแล้วในกระบวนการผลิตข้าว ที่นอกจากเกษตรกรต้องคำนึงถึง พันธุ์ข้าวที่จะนำมาปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยวแล้ว การเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกข้าวก็มีความสำคัญมากเช่นกัน

เนื่องจากในปัจจุบัน เครื่องจักรกลทางการเกษตรได้เข้ามามีบทบาทในการทำเกษตรกรรมของเกษตรกรไทยอย่างแพร่หลายกว่าในอดีตมาก ยิ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาการใช้รถแทรกเตอร์สี่ล้อขนาดกลางมาช่วยในการเตรียมดินสำหรับการทำนาในเขตพื้นที่ชลประทานได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะมีส่วนช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน ลดความเหนื่อยยากให้กับเกษตรกรเป็นอย่างยิ่ง ทำให้เกษตรกรสามารถเตรียมดินได้ทันต่อความต้องการในฤดูกาลเพาะปลูก และที่สำคัญคือ สามารถทดแทนแรงงานในภาคการเกษตรที่ส่วนหนึ่งได้ย้ายเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมและบริการ

จอบหมุน เป็นอุปกรณ์เตรียมดินติดรถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการเตรียมดินขั้นที่สอง ที่ได้รับความนิยมมากทั้งในและต่างประเทศ เพราะสามารถเตรียมดินได้ดี รวดเร็ว ไม่ต้องมีเครื่องมืออื่นที่เกี่ยวกับการเตรียมดินมาทำงานอีกก็ได้ และคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่เด่นและสำคัญ คือ ช่วยลดการติดหล่มของรถแทรกเตอร์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พรวน เพราะไม่ต้องอาศัยแรงฉุดลาก แต่สามารถขับตรงจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ หมุนขับใบมีดที่ยึดติดกับแกนหมุนให้สับดินย่อยขึ้นไถให้แตกกระจายเป็นก้อนเล็ก ๆ และหมุนคลุกเคล้าเศษหญ้า ฟาง ให้ผสมเข้ากับดิน (จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์, 2542)

ชาวนาส่วนใหญ่จะมีการเลี้ยงสัตว์จำพวก โค กระบือ เป็นอาชีพเสริมอยู่แล้ว ผลพลอยได้อย่างหนึ่งจากการเลี้ยงโค กระบือ ก็คือ มูลโค มูลกระบือ โดยที่ต่อไปนี้จะเรียกว่า ปุ๋ยคอก (ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยที่ได้จากมูลและสิ่งขับถ่ายของสัตว์) โดยที่ปุ๋ยคอกจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มี

ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และมีคุณสมบัติในการปรับสภาพของดิน ช่วยปรับปรุงดินให้โปร่ง ร่วนซุย ทำให้ง่ายต่อการเตรียมดิน การตั้งตัวของต้นกล้าที่เร็วขึ้น ทำให้มีโอกาสรอดได้มาก ในนาข้าวที่เป็นดินทราย เช่น ดินในภาคอีสาน การใช้ปุ๋ยคอกจะช่วยให้การดำนาง่ายขึ้น ข้าวตั้งตัวได้ดี และเจริญเติบโตงอกงามเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากดินทรายมีอินทรียวัตถุต่ำมาก การใส่ปุ๋ยคอกลงไปจะมีส่วนช่วยทำให้ดินทรายสามารถอุ้มน้ำและปุ๋ยได้ดีมากขึ้น การปักดำกล้าทำได้ง่ายขึ้น เพราะหลังจากการทำเทือกนาแล้วดินจะไม่อัดกันแน่น (ธงชัย มาลา, 2546) ปกติชาวนานิยมนำปุ๋ยคอกไปใส่แปลงนาในช่วงฤดูแล้ง โดยการใช้แรงงานคนในการขนย้ายปุ๋ยคอกใส่รถบรรทุก ไปในแปลงนาแล้วใช้แรงงานคนในการกระจายปุ๋ยคอกลงในแปลงนาอีกครั้ง เหตุผลที่เกษตรกรนิยมใส่ปุ๋ยคอกในฤดูแล้ง เพราะว่าเป็นช่วงที่ดินในแปลงนาแห้งสนิท รถบรรทุกสามารถลงไปวิ่งได้ เมื่อชาวนากระจายปุ๋ยคอกลงในแปลงนาเป็นกอง ๆ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 2 อาทิตย์ จึงจะทำการไถกลบ และการที่ไม่ไถกลบทันทีจะมีผลโดยตรงกับคุณภาพของปุ๋ยคอก คือ ทำให้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยคอกที่มีอยู่น้อยอยู่แล้วเกิดการสลายตัวไปในอากาศได้ จากข้อมูลจะพบว่า เกษตรกรจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายหลายครั้งในส่วนของแรงงานและยานพาหนะที่ใช้ในการขนย้ายปุ๋ยคอก และอีกประการที่สำคัญ คือ การนำยานพาหนะที่มีน้ำหนักมากลงไปเหยียบในแปลงนา มีผลต่อการอัดตัวของหน้าดิน ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียโดยตรงกับเกษตรกรในการเตรียมดินในฤดูกาลเพาะปลูกครั้งต่อไปที่จะทำได้ยากขึ้น เพราะการอัดแน่นของหน้าดิน และจากสภาพของดินฟ้าอากาศ ในปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาส่งผลให้มีฤดูกาลที่ไม่ชัดเจน จึงทำให้การขนย้ายปุ๋ยคอกในปริมาณมาก ๆ ลงไปในแปลงนาของเกษตรกรทำได้ยากมากขึ้น เพราะดินในแปลงนาอาจไม่แห้งสนิท

ผู้วิจัยมองเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกร จึงได้ทำการศึกษาออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวขึ้น เพื่อที่จะช่วยลดภาระของเกษตรกรและช่วยให้เกษตรกรสามารถทำการผสมปุ๋ยคอกกับดินในแปลงนาไปได้ในครั้งเดียวกันโดยทันทีด้วยการทำงานของจอบหมุน ซึ่งถือเป็นการทำงานที่รวมทั้งสองขั้นตอนมาไว้ในการทำงานเพียงครั้งเดียว ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปัญหาการอัดตัวของหน้าดิน ลดต้นทุนในการผลิต ลดแรงงานในภาคการเกษตร โดยที่การออกแบบเครื่องโรยปุ๋ยคอกนี้จะอาศัยต้นกำลังในการขับเคลื่อนตัวขับปุ๋ยคอกจากเพลาของจอบหมุน โดยเน้นความสำคัญของการออกแบบไปที่ความง่ายต่อการใช้งานและการซ่อมบำรุงของเกษตรกร อีกทั้งสะดวกกับการนำไปต่อพ่วงกับจอบหมุนที่เกษตรกรใช้อยู่

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อลดจำนวนแรงงานและขั้นตอนในการเตรียมดินปลูกข้าว

1.2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกสำหรับการเตรียมดินปลูกข้าว

1.2.3 เพื่อทดสอบเครื่องโรยปุ๋ยคอกสำหรับการเตรียมดินปลูกข้าว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้จะดำเนินการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกที่ใช้ในการเตรียมดินสำหรับการทำนา โดยสร้างชุดจำลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องโรยปุ๋ย ดังนี้ ความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ 3 ระดับ (เกียร์ช้า) จำนวนใบกวาด 3 ระดับ และชนิดใบกวาด 3 ชนิด

เมื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นและพบปัจจัยที่เหมาะสมแล้ว จะดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องโรยปุ๋ยคอกต้นแบบโดยมีเครื่องจักรกลเกษตรที่นำมาออกแบบร่วมด้วยดังนี้ คือ รถแทรกเตอร์คูโบต้ารุ่น L4508 ขนาด 46 แรงม้า จอบหมุนตราช้าง รุ่น RX180F ชนิดของใบมีดรูปแอลผสมซี เมื่อได้เครื่องโรยปุ๋ยคอกต้นแบบแล้ว จะนำไปทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพ โดยค่าชี้ผลในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ ความสามารถในการใส่ปุ๋ยต่อพื้นที่ (กิโลกรัมต่อไร่) ประสิทธิภาพการกระจายปุ๋ยต่อพื้นที่ (%) ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่ (ไร่ต่อชั่วโมง) ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมดินปลูกข้าว ขนาดของปุ๋ยคอก การต่อพ่วงอุปกรณ์เตรียมดินของรถแทรกเตอร์ จอบหมุน และเครื่องให้ปุ๋ยพืช เพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนา

1.4.2 สร้างชุดจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว เพื่อทดสอบชนิดของใบกวาดปุ๋ยคอก 3 ชนิด คือ ใบตรง ใบรูปทรงตัวแอล และใบรูปทรงตัวซี ชนิดละ 3 ระดับใบกวาด คือ 4 6 และ 8 ใบ ที่แตกต่างกัน

1.4.3 ออกแบบเครื่องต้นแบบ เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง

1.4.4 สร้างเครื่องต้นแบบ

1.4.5 ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ เพื่อหาความสามารถในการใส่ปุ๋ยต่อพื้นที่ (กิโลกรัมต่อไร่) ประสิทธิภาพการกระจายปุ๋ยต่อพื้นที่ (%) ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่ (ไร่ต่อชั่วโมง) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตรต่อไร่) และความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

1.4.6 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

1.4.7 สรุปผลการดำเนินการและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องโรยปุ๋ยคอกสำหรับการเตรียมดินปลูกข้าว ที่สามารถทำงานทดแทนแรงงานในภาคการเกษตรได้ สามารถโรยปุ๋ยคอกและพรวนดินได้ในขั้นตอนเดียว อีกทั้งได้เครื่องต้นแบบสำหรับให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเตรียมดินทำนาข้าว เพื่อให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นถึงความจำเป็นในการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อ 2.1 ส่วนหัวข้อ 2.2 จะกล่าวถึงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ และหัวข้อ 2.3 จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องโรยปุ๋ย

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเตรียมดินทำนาข้าว

การเตรียมดินสำหรับการทำนาข้าว เป็นการเตรียมพื้นที่ให้เหมาะสำหรับการปลูกข้าว ซึ่งจะส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยการปรับสภาพของดินในแปลงนาเพื่อให้เหมาะสำหรับการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของข้าว รวมถึงการช่วยควบคุมวัชพืช โรค แมลงศัตรูข้าวและศัตรูข้าวที่อาศัยอยู่ในดิน การเตรียมดินยังส่งผลให้ฟางข้าว ตอซังข้าวและวัชพืชถูกไถกลบลงไปในดินเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน นอกจากนี้ยังทำให้ธาตุอาหารพืชที่สะสมอยู่ในดินชั้นล่างกลับขึ้นมาบนผิวดิน วิธีการเตรียมดินเพื่อปลูกข้าวนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและสภาพแวดล้อมในแปลงนาก่อนการปลูกโดยการ ไถดะ ไถแปร คราด และทำเทือก

2.1.1 จุดประสงค์ที่สำคัญในการเตรียมดิน

- เพื่อทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น เช่น ทำให้เกิดช่องว่างในดินขึ้นแล้วมีผลทำให้อากาศและน้ำถ่ายเทได้สะดวก
- เพื่อควบคุมและกำจัดวัชพืช รวมทั้งทำลายไข่ และแมลงที่เป็นศัตรูพืช
- เพื่อทำให้ผิวดินเหมาะสมกับการชลประทาน และการระบายน้ำ
- เพื่อกลบและคลุกเคล้าพืช หรือปุ๋ยลงไปในดิน
- เพื่อทำให้จุลินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตในดินมีกิจกรรมมากขึ้น
- เพื่อสงวนและรักษาหน้าดินไม่ให้เกิดการชะล้างและพังทลาย

2.1.2 ขั้นตอนการเตรียมดินสำหรับการทำนา มีดังนี้

- การไถดะ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นการไถครั้งแรกตามแนวยาวของแปลงนา การไถดะจะช่วยพลิกดินเพื่อให้ดินชั้นล่างได้ขึ้นมาสัมผัสกับอากาศ ซึ่งเป็นการตากดินเพื่อทำลายวัชพืช และโรคพืชบางชนิด การไถดะจะเริ่มทำเมื่อฝนตกครั้งแรกในปีฤดูกาลใหม่ของการเพาะปลูก หลังจากไถดะแล้วจะตากดินเอาไว้ประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์

รูปที่ 2.1 การไถดะ

- การไถแปร หลังจากที่ตากดินเอาไว้แล้ว 1 ถึง 2 อาทิตย์แล้วเกษตรกรจะทำการไถแปรดังแสดงในรูปที่ 2.2 เพื่อจะช่วยพลิกดินที่กลบไว้ให้กลับขึ้นมาด้านบนอีกครั้ง เป็นการทำลายวัชพืชที่ขึ้นใหม่ และเป็นการย่อยดินให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งจำนวนครั้งของการไถแปรจึงขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัชพืช ลักษณะดินและระดับน้ำในพื้นที่ที่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วจะไถแปรเพียงครั้งเดียว

รูปที่ 2.2 การไถแปร

- การคราด คือ การเอาเศษวัชพืชออกจากแปลงนา และย่อยดินให้มีขนาดเล็กลงอีก จนเหมาะแก่การเจริญเติบโตของข้าว ทั้งยังเป็นการปรับระดับพื้นที่ให้มีความสม่ำเสมอเพื่อสะดวกในการควบคุมดูแลการให้น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 การคราดนา

2.1.3 การปลูกข้าว

การปลูกข้าวเป็นงานที่สำคัญยิ่งของประเทศไทยตั้งแต่โบราณกาลมาแล้ว จนถึงกับได้มีพระราชพิธีจรดพระนังคัลแรกนาขวัญ เพื่อเป็นปฐมฤกษ์ในการทำนาปลูกข้าวของแต่ละปี จะได้เป็นสิริมงคลต่อพสกนิกรผู้ปลูกข้าว โดยพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจะมอบให้เจ้าหน้าที่ฝ่ายเกษตรเป็นพระยาแรกนา ทำการไถและหว่านเมล็ดข้าว ชาวนาจะเก็บเมล็ดพันธุ์นี้ไปรวมกับเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูก เพราะถือว่าเป็นสิริมงคลยิ่ง การปลูกข้าวมีขั้นตอนดังนี้

- วิธีการปลูกข้าว การปลูกข้าวในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ การปลูกข้าวไร่ การปลูกข้าวนาดำ และการปลูกข้าวนาหว่าน
- การดูแลรักษา ผู้ปลูกจะต้องหมั่นออกไปตรวจดูต้นข้าวที่ปลูกไว้เสมอจะต้องมีการกำจัดวัชพืช ใส่ปุ๋ย
- การเก็บเกี่ยว เมล็ดข้าวจะแก่พร้อมเก็บเกี่ยวได้ หลังจากออกดอกแล้วประมาณ 30 ถึง 35 วัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวข้าว ได้แก่ เคียว และแกระ ชาวนาใน

ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางใช้เคียวสำหรับเกี่ยวข้าว ส่วนชาวนาในภาคใต้ใช้แกระในการเกี่ยวข้าว

- การนวดข้าว หมายถึง การเอาเมล็ดข้าวออกจากรวง แล้วทำความสะอาดเพื่อแยกเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางข้าวออกไป เหลือไว้เฉพาะเมล็ดข้าวเปลือกที่ต้องการเท่านั้น
- การทำความสะอาดเมล็ด หมายถึง การเอาข้าวเปลือกออกจากสิ่งเจือปนอื่น ๆ ซึ่งทำได้โดยวิธีต่าง ๆ ดังนี้ คือ การสาดข้าว การใช้กระด้งฝัด และการใช้เครื่องสีฝัด
- การตากข้าว หลังจากนวดและทำความสะอาดเมล็ดข้าวแล้วจึงจำเป็นต้องเอาข้าวเปลือกไปตากอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะเอาไปเก็บไว้ในยุ้ง ฉาง เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวเปลือกที่แห้งและมีความชื้นของเมล็ดประมาณ 13 ถึง 15% ทั้งนี้เพื่อรักษาคุณภาพเมล็ดข้าวให้ได้มาตรฐานอยู่เป็นเวลานาน ๆ
- การเก็บรักษาข้าว ชาวนาจะเก็บข้าวไว้ในยุ้ง ฉาง เพื่อไว้บริโภคและแบ่งขายเมื่อข้าวมีราคาสูง และอีกส่วนหนึ่งชาวนาจะแบ่งไว้ทำพันธุ์ ฉะนั้นข้าวพวกนี้จะต้องเก็บไว้เป็นอย่างดี โดยรักษาให้ข้าวนั้นมีคุณภาพได้มาตรฐานอยู่ตลอดเวลา และไม่สูญเสียความงอก

2.1.4 การใช้ปุ๋ยในนาข้าว

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ปุ๋ย คือ อาหารของพืช เช่น ข้าว พื้นที่นาที่ใช้ปลูกข้าวติดต่อกันมาเป็นเวลานานจนแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นอาหารของต้นข้าวถูกดึงดูดเอาไปสร้างเป็นต้นและเมล็ดข้าวหมดลง ทำให้แร่ธาตุเหล่านี้ขาดแคลนไปจากพื้นนา ข้าวที่ปลูกในระยะหลังจึงให้ผลิตผลต่ำ ดังนั้น ชาวนาจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยใส่ลงไปในนาข้าวในปัจจุบัน เพื่อจะได้ผลิตผลสูงและมีรายได้มากยิ่งขึ้นจนพอกับความต้องการของครอบครัว

- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับปุ๋ย ปุ๋ย คือ สารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช ปุ๋ยมีอยู่หลายชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ
  - ปุ๋ยเคมี คือ ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดียว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ ซึ่งหมายความรวมถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปูนขาว ดินมาร์ล ปูนพลาสเตอร์ หรือยิบซั่ม
  - ปุ๋ยอินทรีย์ คือ ปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นแต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์มีหลายชนิดที่ควรทราบมีดังนี้
    - ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยที่ได้จากการหมักเศษวัสดุ เช่น หญ้า ใบไม้ ฟางข้าว กากอ้อย แกลบ ขุยมะพร้าว เปลือกสับปะรด ซังข้าวโพด จนกระทั่งเน่าเปื่อย ผุพัง กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น และมีสีน้ำตาลปนดำ

- ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยที่ได้จากมูลและสิ่งขับถ่ายของสัตว์ เช่น โค กระบือ
- ปุ๋ยพืชสด คือ ปุ๋ยที่ได้จากการปลูกพืชและไถกลบพืชที่ยังเขียวอยู่ เช่น ถั่วเขียว ถั่วพร้า ปอเทือง โสน

• ปุ๋ยชีวภาพ คือ การที่ใช้จุลินทรีย์มาใช้ปรับปรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ ทางเคมี ชีวะ และการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ตลอดจนการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากอินทรียวัตถุ หรือจากอนินทรียวัตถุ เช่น เชื้อไรโซเบียม หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะสามารถเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้กับดินและพืช

- การใส่ปุ๋ยและการปรับปรุงดิน พื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทยสามารถจำแนกลักษณะดินนา ได้ 3 ลักษณะ คือ ดินเหนียว ดินร่วน ดินทราย หรือดินร่วนปนดินทราย ซึ่งทำให้วิธีการใส่ปุ๋ยและปรับปรุงดินแตกต่างกันไปในดินนาแต่ละชนิด

• ดินเหนียว เป็นดินค่อนข้างอุดมสมบูรณ์สูงกว่าดินชนิดอื่น ๆ การวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก พบว่า ดินเหนียวมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมเพียงพอต่อความต้องการของข้าวแล้วการใส่ปุ๋ยเคมีจึงแนะนำให้ใส่เพียงปุ๋ยไนโตรเจน และปุ๋ยฟอสฟอรัส เท่านั้น

• ดินร่วนและดินทราย ลักษณะเนื้อดินหยาบกว่า และความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ คำแนะนำให้ใช้ปุ๋ยเคมี จึงให้ใส่ธาตุอาหารหลักครบทั้ง 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

• การปรับปรุงดิน สำหรับดินร่วนปนทราย และดินทราย ซึ่งเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ สมควรปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และวัสดุอินทรีย์อื่น ๆ เพื่อทำให้ดินมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น สามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น

• การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต้องใส่ในระยะเตรียมดิน คือ ไถกลบลงในดินก่อนปลูกข้าว 2 ถึง 3 สัปดาห์ เพื่อให้เวลาปุ๋ยอินทรีย์ย่อยสลายลงในดินก่อนการหว่านข้าวหรือปักดำ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก สำหรับปุ๋ยพืชสด แนะนำให้ปลูกพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว หรือโสน ได้แก่ โสนแอฟริกัน โสนอินเดีย ปลูกและไถกลบก่อนเตรียมดินปลูกข้าว

รูปที่ 2.4 การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว

• การใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีลงแปลงนาดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4 นั้นให้ใส่ตามคำแนะนำ โดยใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่แนะนำ 2 ถึง 3 ครั้ง ปุ๋ยฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ให้ใส่ทั้งหมดในการใส่ปุ๋ยครั้งแรกและปุ๋ยไนโตรเจน ให้แบ่งใส่ 3 ครั้ง ที่ระยะกล้า ระยะแตกกอ และระยะสร้างรวงอ่อน หากจะมีการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 4 หลังจากข้าวสร้างรวงอ่อน ให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งเมื่อสังเกตได้ว่าใบข้าวที่อยู่ใกล้ใบธงเริ่มมีสีเหลือง ลำต้นไม่แข็งแรงจึงใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอีกเล็กน้อย สำหรับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหลังจากข้าวออกดอกไม่แนะนำให้ปฏิบัติ เพราะจะทำให้ข้าวแก่ช้า เมล็ดอวบอ้วน การสีข้าวทำให้เมล็ดแตกหักได้ง่าย และอาจมีโรค หรือแมลงรบกวนได้ โรคที่เกิดที่เมล็ดอย่างหนึ่งคือโรคเมล็ดด่าง ทำให้ข้าวคุณภาพไม่ดี ราคาข้าวตกต่ำลง

2.1.5 ปุ๋ยคอก

ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.5 เป็นรูปของมูลวัวที่อยู่ในคอก ซึ่งในปุ๋ยคอกนั้นมีจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ต่าง ๆ มากมาย มีทั้งพวกที่เป็นฮิวมัสแล้วและส่วนของอาหารที่ยังสลายตัวไม่หมด มีทั้งส่วนที่เป็นเซลลูโลส ลิกนิน และสารอินทรีย์อื่น ๆ นอกจากนั้นยังพบว่า มีวิตามิน และฮอร์โมนพืช เช่น กรดอะมิโน ไทอามีน ไบโอติน และไพริด็อกซิน เป็นต้น

รูปที่ 2.5 มูลวัวในคอก

- ข้อดีของปุ๋ยคอก คือ ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น มีธาตุอาหารเสริมอยู่เกือบครบทุกธาตุ ปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาอย่างช้า ๆ ทำให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์ต่อพืชได้นาน และมีผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มมากขึ้น
- ข้อเสียของปุ๋ยคอก คือ ปริมาณธาตุอาหารต่ำ สลายตัวช้า จึงปล่อยธาตุอาหารให้พืชได้ช้า หายากเมื่อต้องการปริมาณมาก และราคาแพงเมื่อเทียบต่อหน่วยน้ำหนักของธาตุอาหารพืช
- ข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยคอก คือ ต้องใช้ในปริมาณมาก มีปัญหาด้านการขนส่งในกรณีที่อยู่ไกล มีปัญหาเมล็ดวัชพืชติดปนมาทำให้เกิดหญ้ามากในแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกโดยเฉพาะกรณีที่ใช้มูลกระบือซึ่งเป็นสัตว์ที่กินหญ้าเป็นอาหารหลัก เกษตรกรบางรายเข้าใจผิดคิดว่าใช้ปุ๋ยคอกแล้วจะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ กับพืชที่ปลูก ปัจจุบันมีพ่อค้าบางรายเริ่มผลิตปุ๋ยคอกปลอมปนส่งผลเสียทำให้เกษตรกรไม่อยากใช้ปุ๋ยคอก และมูลสุกรบางเล้าใช้โซดาไฟล้างคอกสัตว์ ทำให้มูลที่ได้คุณภาพไม่ดี
- ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอก ปุ๋ยคอกที่ได้มาจากสัตว์แต่ละชนิดจะมีปริมาณธาตุอาหารพืชแตกต่างกันไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นธาตุอาหารหลักจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน คือ สภาพของการสะสมปุ๋ยคอก อาหารที่สัตว์กิน และอายุของสัตว์โดยทั่วไปแล้วปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกจะมีสัดส่วนค่อนข้างต่ำทั้งธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ

โพแทสเซียม แต่สัตว์บางชนิดได้แก่ สัตว์ปีกบางชนิดจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยคอกสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักเฉลี่ยในปุ๋ยคอกแต่ละชนิด

ชนิดของปุ๋ยคอก	ช่วงค่าการวิเคราะห์				ค่าเฉลี่ย (%)			
	ความชื้น	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	ความชื้น	N	P_2O_5	K_2O
มูลโค	35-60	0.86-1.32	0.32-0.58	0.80-2.21	47	1.1	0.4	1.6
มูลกระบือ (สด)	36-80	0.81-1.37	0.19-0.49	0.88-1.91	57	1.1	0.7	1.5
มูลกระบือ (แห้ง)	8-11	0.81-1.15	0.52-0.92	0.52-3.23	10	1	0.7	1.7
มูลเป็ด (สด)	25-37	1.08-1.26	1.10-1.41	0.69-1.21	32	1.1	1.3	0.9
มูลเป็ด (แห้ง)	3-15	0.56-1.22	1.03-2.15	0.02-2.05	8	0.8	1.8	0.4
มูลไก่	3-18	1.90-3.91	2.98-11.14	0.51-3.52	9	2.7	6.3	2
มูลค้างคาว	3-13	0.23-8.96	5.17-21.78	0.01-2.94	9	3.1	12.2	0.6
มูลสุกร	15-45	1.03-1.68	1.74-2.69	0.63-1.34	30	1.3	2.4	1

- อัตราการใส่ปุ๋ยคอก การใส่ปุ๋ยคอกเพื่อให้ได้ปริมาณธาตุอาหารหลักเพียงพอกับพืชเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้วจะต้องใส่ปุ๋ยคอก 600 ถึง 1,000 กิโลกรัม ซึ่งอาจกระทำได้ยากเพราะมักจะหามาได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นอัตราการใส่ปุ๋ยคอกจึงปรับได้ กล่าวคือ ถ้ามีมากก็ใส่มาก มีน้อยก็ใส่น้อย แต่ขอให้ใส่อย่างสม่ำเสมอทุกฤดูปลูก และในตารางที่ 2.2 ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของปุ๋ยคอกที่สามารถช่วยปรับสภาพของดินเมื่อใส่ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 ปี

ตารางที่ 2.2 ผลการใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 1,600 กิโลกรัม เป็นเวลา 5 ปี ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติของดิน	ใช้ปุ๋ยเคมี	ใช้ปุ๋ยคอก
ความหนาแน่นรวม(กรัม/ลบ.ซม)	1.37	1.22
ความพรุน(%)	48.3	54
การถ่ายเทอากาศ(ซม./วินาที)	0.27	0.41
การเกิดเม็ดดิน(%)	33.6	45.6

- วิธีการใส่ปุ๋ยคอก การใส่ปุ๋ยคอกลงในนาข้าวสามารถทำได้โดยการหว่านให้สม่ำเสมอทั่วแปลงด้วยมือหรือเครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในบางกรณีอาจต้องใส่โดยวิธีการโรยเป็นแถวก็ได้ ซึ่งการเก็บรักษาปุ๋ยคอกเอาไว้ใช้นาน ๆ ควรนำมาทำให้แห้งสนิทแล้วกองรวมกันไว้

ไม่ให้ถูกฝนและไม่ถูกรบกวนในขณะเก็บรักษาโดยอาจเก็บไว้ภายใต้หลังคาคุ้มฝน เก็บไว้ในหลุมดิน หรือหลุมคอนกรีตเพื่อป้องกันการระเหยของไนโตรเจน แต่ถ้าปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยคอกสดและต้องการนำไปใช้ประโยชน์ในเร็ววันควรทำการหมักให้มีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 40 ถึง 50 ก่อนนำไปใช้

การใช้ปุ๋ยคอกให้ได้ผลตอบแทนสูงสุดควรใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยใส่ในอัตราที่เหมาะสมกับชนิดของพืชที่ปลูก การใส่ปุ๋ยคอกทั้งในรูปของแข็งและของเหลวเมื่อใส่แล้วควรกลบทันทีเพื่อลดการสูญเสียปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยเหลว ซึ่งจะสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซแอมโมเนียได้ง่ายกว่าปุ๋ยแข็ง การใส่ปุ๋ยกับพืชไร่ ควรหว่านหรือรดใกล้โคนต้นพืชแล้วกลบ ในกรณีไม้ผลหรือไม้ยืนต้นที่ปลูกเป็นหลุมควรใส่รองก้นหลุมจะช่วยประหยัดปุ๋ยที่ใส่ การใส่ปุ๋ยเหลวควรใส่ในวันที่มีอากาศเย็นและไม่มีลม การใส่ปุ๋ยคอกนอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลักแก่พืชปลูกแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการขาดจุลธาตุอาหารในดิน ปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ ดินเกิดการกร่อน และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และยังช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของดินที่ไม่เหมาะสม เช่น ดินมีการอุ้มน้ำไม่ดี ดินมีโครงสร้างแน่นทึบไถพรวนยาก เนื่องจากการใส่ปุ๋ยคอกจะทำให้ดินร่วนซุย ดินโปร่งมีการอุ้มน้ำและการระบายน้ำดี

รูปที่ 2.6 การใส่ปุ๋ยคอก

- เวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ยคอก นิยมใส่ปุ๋ยคอกในเวลาการเพาะปลูกในช่วงการไถ พรวน ถ้ามีการเพาะปลูกหลายครั้งต่อปี ควรใส่ปุ๋ยคอกหลังการเก็บเกี่ยวทุกครั้ง แล้วไถพรวนให้เข้ากันดีกับดินก่อนการปลูกพืช การใส่ปุ๋ยคอกเพิ่มเติมให้แก่นาข้าวหลังการปลูกก็อาจทำได้ แต่ผลไม่ดีเท่ากับการใส่ก่อนปลูก เพราะการผสมคลุกเคล้ากันของปุ๋ยคอกและดินอาจทำได้ไม่สะดวกเท่าที่ควร
- การเก็บรักษาปุ๋ยคอก ทำได้โดยการนำปุ๋ยมากองรวมกันเป็นรูปฝาชีในโรงเรือน จากนั้นจึงทำการอัดให้แน่น แต่หากอยู่กลางแจ้งควรใช้ทางมะพร้าวคลุมไว้เพื่อลดการสัมผัสแสงแดดและลม สำหรับปุ๋ยคอกที่ยังสดอยู่ ถ้าใส่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดาลงไปด้วยเล็กน้อยจะช่วยป้องกันไม่ให้มีการสูญเสียไนโตรเจน โดยการระเหิดกลายเป็นก๊าซได้ แต่ถ้าอยู่ในคอกให้ใช้แกลบ ขี้เลื่อย หรือฟางข้าวรองพื้นคอกเพื่อให้ดูดซับปุ๋ยไว้ เมื่อฟางข้าวอิ่มตัวด้วยปุ๋ยจึงรองเพิ่มเป็นชั้น ๆ เมื่อสะสมไว้มากพอให้ลอกเอาไปกองเก็บไว้ หรือนำไปใส่ในไร่นาได้ ปุ๋ยคอกที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานานจะมีการหมักตัวและย่อยสลายตามระยะเวลาที่เก็บและจะมีค่าความหนาแน่นของปุ๋ยคอกที่แตกต่างกันไปตามสภาพของปุ๋ยในขณะนั้น ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความหนาแน่นของปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ยคอก	ความหนาแน่น(kg/m^3)
แห้ง	200 – 300
สด	300 – 400
สดและอัดแน่น	500 – 600
กึ่งหมัก	600 – 700
ย่อยสลาย	700 – 800
ฮิวมัส	800

2.1.6 จอบหมุน

จอบหมุน เป็นเครื่องมือเตรียมดินที่ใช้เตรียมดินขั้นที่สอง โดยการทำงานเพียงครั้งเดียว ทำหน้าที่ตัดดินและเหวี่ยงดินไปด้านหลังหรือด้านข้างสามารถเตรียมดินให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกได้ดี ซึ่งลักษณะของจอบหมุนแสดงในรูปที่ 2.7

- จุดประสงค์ในการใช้จอบหมุน เพื่อเตรียมหน้าดินให้ละเอียดเหมาะแก่การเพาะปลูกหลังจากไถแล้ว ใช้ในการเตรียมดินเที่ยวเดียวโดยไม่ต้องไถ เป็นการลดค่าใช้จ่าย และไม่ทำให้สภาพของดินเสีย เช่น การเตรียมแปลงนา หรืออาจใช้ร่วมกับไถดินดาน ช่วยทำลายดินดานให้

แตกและย่อยดินให้ละเอียดในเที่ยวเดียว ช่วยคลุกเคล้าดินกับอินทรียวัตถุให้เข้ากันได้ทั่วถึง ทำให้พืชเติบโตได้อย่างสม่ำเสมอ ใช้กำจัดวัชพืชระหว่างแถวพืช ใช้ยกร่อง และย่อยดินให้ละเอียดในเที่ยวเดียว

รูปที่ 2.7 จอบหมุนติดรถแทรกเตอร์

- ตำแหน่งของจอบหมุนที่ติดหลังรถแทรกเตอร์ การติดตั้งจอบหมุนเข้ากับรถแทรกเตอร์ติดได้ 2 ลักษณะ คือ ติดให้ศูนย์กลางของจอบหมุนกับแทรกเตอร์ตรงกัน และติดตั้งให้จอบหมุนเยื้องไปทางขวามือ คือ สลักหรือจุดยึดสลักที่จะให้จอบหมุนเยื้องไปทางขวานี้บริษัทผู้ผลิตจะกำหนดสร้างไว้ให้แล้ว เพียงแต่เลือกติดตั้งให้ถูกต้องเท่านั้น โดยในรูปที่ 2.8 จะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของจุดต่อพ่วงรถแทรกเตอร์ที่ให้สำหรับต่อเข้ากับจอบหมุน

รูปที่ 2.8 จุดต่อพ่วงมาตรฐานแบบ 3 จุด และเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์

- การทำงานของจอบหมุน การทำงานของจอบหมุนได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 โดยที่จอบหมุนจะทำงานโดยใช้รถแทรกเตอร์ลาก และใบมีดจะรับกำลังจากการขับของเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ผ่านไปยังเพลารับกำลังและส่งกำลังต่อไปยังห้องเกียร์ของจอบหมุน จากห้องเกียร์มีเพลาไปขับโซ่ซึ่งจะส่งกำลังไปขับเพลาใบมีด ใบมีดของจอบหมุนจะติดอยู่บนหน้าแปลนของเพลาหมุนนี้ และเพื่อป้องกันก้อนดินและหญ้ามาติดระหว่างใบมีดของจอบหมุนจะต้องจัดให้หน้าแปลนซึ่งติดอยู่บนเพลาห่างกันอย่างน้อย 20 เซนติเมตร ใบมีดจะสามารถตัดก้อนดินได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของจอบหมุนและความเร็วของรถด้วย จำนวนรอบของจอบหมุนจะอยู่ระหว่าง 95 ถึง 230 รอบต่อนาที การเปลี่ยนความเร็วของจอบหมุนทำได้โดยเปลี่ยนชุดเฟืองในห้องเกียร์ ซึ่งจะปรับความเร็วของใบมีดได้จาก 2 ถึง 7 เมตรต่อนาที ความเร็วของเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ จะต้องคงที่เสมอตลอดการทำงาน

รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของจอบหมุนที่ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์

2.1.7 เครื่องโรยปุ๋ย

ใช้สำหรับให้ปุ๋ยที่หน้าดิน จะโรยปุ๋ยได้หน้ากว้างตามความยาวของถังบรรจุ เพราะช่องเปิดอยู่ที่ก้นถัง ผู้ขับจะเปิดหรือปิดช่องนี้ด้วยคันโยก หรือใช้เชือกดึง มีล้อรองรับที่ปลายทั้งสองข้างของถัง และทำหน้าที่เป็นล้อขับกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยด้วย

- ส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้
  - ถังบรรจุปุ๋ย ความจุของถังประมาณ 45 กิโลกรัมต่อความยาว 1 ฟุต ปกติถังจะมีความยาว 8 ถึง 12 ฟุต (2.4 ถึง 3.6 เมตร)
  - กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ย วางตามแนวตลอดความยาวของถัง ซึ่งมีด้วยกันหลายลักษณะ เช่น แบบเกลียวนำปุ๋ย (Auger Type) แบบโซ่เลื่อน (Chain Type) แบบสายพาน (Belt Type) และแบบแผ่นเลื่อน (Reciprocating plate type)
  - ช่องจ่ายปุ๋ย เป็นช่องทางออกของปุ๋ยที่อยู่บริเวณก้นถัง สามารถปรับเพื่อควบคุมการไหลของปุ๋ยได้

- ล้อขับ ใช้สำหรับรองรับถังปุ๋ย ขณะเดียวกันก็เป็นล้อขับเคลื่อนและส่งกำลังไปยังชุดกำหนดปริมาณปุ๋ยด้วย (ในงานวิจัยนี้ใช้จอบหมุนทำหน้าที่แทนล้อขับ)
- ระบบส่งกำลัง ในเครื่องจักรกลเกษตรการส่งกำลังจากต้นกำลังสามารถทำได้ 4 วิธี คือ การใช้เฟืองขับ (Gear) การใช้สายพานและล้อขับ (Pulley and Belt) การใช้เพลาอำนวยกำลัง (Power Take Off) และการใช้โซ่และล้อเฟือง (Sprocket Wheel and Chain)

2.1.8 การอัดตัวแน่นของดิน (Soil compaction)

หมายถึง การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของดินและทำให้อนุภาคของเม็ดดินเรียงชิดกัน การอัดตัวแน่นของดินสามารถเกิดขึ้นได้ในหลาย ๆ กรณี ได้แก่ ฝนตก แรงดึงภายในของน้ำ หรือแรงอื่น ๆ เนื่องจากการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตร ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรขนาดใหญ่ขึ้น ก่อให้เกิดแรงกระทำต่อดินสูงขึ้น ชั้นของดินเกิดการอัดตัวแน่นของดิน โดยการอัดตัวของดินเกี่ยวกับการเพิ่มความหนาแน่นของดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการให้น้ำหนักหรือความดันจากภายนอกให้กับดิน โดยปกติแล้วดินทุกชนิดจะมีความหนาแน่นอยู่แล้ว แต่ถ้าเพิ่มน้ำหนักหรือแรงกดจากเครื่องมือต่าง ๆ จะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลจากแรงอัดตัวและปริมาณความชื้น

- ชั้นของดินที่เกิดการอัดแน่นตัว สามารถแบ่งได้เป็น
  - Arable Layer เป็นชั้นดินซึ่งอยู่ส่วนบนสุด จะมีแร่ธาตุอาหารและอินทรียวัตถุสูง เหมาะแก่การเพาะปลูก ดินชั้นนี้จะมีสัดส่วนของความชื้นในดิน ช่องว่างอากาศ และส่วนของเนื้อดินที่เหมาะสม อนุภาคของเม็ดดินมีการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ
  - Subsoil Layer เป็นดินชั้นล่างที่มีการอัดตัวแน่น เนื่องจากดินเกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบหรือสัดส่วนของดินขึ้นอย่างไม่เหมาะสม ดินในชั้นนี้จะมีการจับตัวกันอย่างหนาแน่น เกิดเป็นชั้นดินดานขึ้น รากพืชไม่สามารถหยั่งลึกผ่านลงไปได้

ดินชั้นบน (Top Soil)
ชั้นดินดาน (Plow Pan)
ดินชั้นล่าง (Subsoil)

รูปที่ 2.10 แสดงชั้นดินต่าง ๆ

จากรูปที่ 2.10 ดินชั้นบนสุด (Top Soil) จะเป็นชั้นที่เมล็ดพันธุ์พืชใช้เป็นที่เจริญเติบโต ดินชั้นนี้จะมีการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ สภาพดินฟ้าอากาศจะมีอิทธิพลต่อดินชั้นนี้มาก การชะล้างเนื่องจากน้ำบนผิวดินจะมีผลต่อการอัดแน่นของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจับตัวแข็งของสารเคมีบริเวณผิวหน้าดิน ยิ่งกว่านั้นการใช้เครื่องจักรเครื่องมือทางการเกษตรจะทำให้หน้าดินเกิดการอัดตัวโดยตรง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชบริเวณผิวหน้าดินในชั้นดินที่มีการเกษตรกรรมโดยการใช้เครื่องจักรเครื่องมือทางการเกษตร จะทำให้ความหนาแน่นมวลรวม (Bulk Density) ของดินในชั้นนี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในการไถพรวนจึงต้องมีการพิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อการอัดตัวแน่นของดิน ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การไถพรวนที่ระดับความลึกเดิมอยู่ตลอดเวลาจะทำให้ดินเกิดการอัดตัวแน่นเกิดเป็นชั้นดินดาน (Subsoil, Plow Pan) การชะล้างดินเนื่องจากน้ำภายหลังจากการไถพรวน จะทำให้ดินมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเหนียวชั้นดินดาน จะจับตัวกันเป็นก้อนแข็งมาก มีผลต่อการระบายน้ำและการแพร่กระจายของรากพืช ปริมาตรของดินจะเป็นตัวชี้บอกถึงการอัดตัวแน่นของดิน กรณีล้อรถแทรกเตอร์ที่กระทำต่อดิน จะทำให้ดินเกิดการยุบตัวและขยายตัวออกไปในแนวราบ ดังนั้นการอัดตัวของดินทางการเกษตรที่เกิดขึ้น จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของดินด้วยการอัดตัวแน่นของดิน ซึ่งจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นจะพิจารณาได้จากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore Space) หมายถึง ส่วนที่เป็นของเหลวหรือแก๊สที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดดิน หาได้จากอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินต่อปริมาตรของดินทั้งก้อน อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินต่อปริมาตรของเม็ดดิน น้ำหนักโดยปริมาตรของดินแห้ง (Dry Volume Weight) หมายถึง น้ำหนักเม็ดดิน (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำ) ในหนึ่งหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาตรโดยน้ำหนักมวลรวม (Bulk Weight Volume) หมายถึง ปริมาตรของดินในหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือเป็นส่วนกลับของน้ำหนักโดยปริมาตรของดินแห้ง

การทดสอบในแปลงที่กระทำกับดินที่มีปริมาณอนุภาคดินทรายค่อนข้างสูงและดินเหนียว พบว่า การเพิ่มขึ้นของการอัดตัวแน่นของดิน จะเกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการลื่นไถล และจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อมีการลื่นไถล 25 ถึง 35% โดยดินชั้นบนจะมีการอัดตัวแน่นลดน้อยลงด้วยในขณะที่ค่าการลื่นไถลมีค่าสูงขึ้น (อนุตร จำลองกุล, 2537)

ได้มีการนำเอาตัวประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ที่มีผลต่อการอัดตัวแน่นของดิน เนื่องจากล้อรถแทรกเตอร์ เช่น ปริมาณความชื้น อัตราการลื่นไถล แสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการ เพื่อหาค่าความหนาแน่นของดิน ดังสมการต่อไปนี้

$$\gamma_d = \gamma_0 + A_1 \log\left\{\frac{Np}{p_0}(1+S\%)\right\} + B_1 \log(W\%) \qquad (2.1)$$

เมื่อ $S = \frac{V_S}{V_W},\%$

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าคงที่ของดินสำหรับการพยากรณ์การบดอัดดิน

Soil	g_0(dry), t/m^3	P_o, kPa	A_1, t/m^3	B_1, t/m^3	Source
Ste – Rosalie Clay	0.7	3	0.13	0.4	1
Loamy Sand	1	7	0.17	0.3	1
Sandy Loam	0.8	7	0.17	0.5	1
Yolo Silt Loam	1	7	0.13	1.1	2
Heavy Loamy Clay	1.1	7	0.17	0.5	2
Clay	1.2	7	0.14	0.3 - 0.7	3
Sandy Loam	1.3	7	0.17	0.5	3

- ปัจจัยที่มีผลต่อการบดอัดดิน เนื้อดิน หมายถึง สัดส่วนสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคของดินทราย ดินเหนียว และดินตะกอน ในดินแต่ละชนิดและในสถานที่ต่างกัน จะมีสัดส่วนแตกต่างกันไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore Space) จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของการกระจายตัวและเรียงตัวของอนุภาคเม็ดดิน ดินที่มีอนุภาคเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ จะมีการกระจายขนาดของอนุภาคที่เท่ากันด้วย สมมุติว่าในแต่ละอนุภาคเม็ดดินประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนหนึ่ง ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนช่องว่างของอากาศก็จะลดลงจนอาจทำให้ดินมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Soil)

ถ้ามีแรงมากระทำในลักษณะการคลุกเคล้ากันต่อดิน จะทำให้ดินถูกอัดตัวขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาตรของอนุภาคเม็ดดินที่กระจายตัวกันอยู่ในดิน ในดินทรายจะมีแรงเกาะยึดระหว่างอนุภาคเม็ดดินด้วยกัน (Cohesion) มีค่าน้อย การให้ภาระกระทำต่อดินซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จะทำให้ดินเกิดการอัดตัวแน่นมากกว่าในดินเหนียว เพราะว่าดินเหนียวมีคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elastic) ได้มากกว่า จึงมีการคืนตัว (Rebound) ภายหลังจากถูกแรงกระทำปัจจัยที่มีผลต่อการอัดตัวแน่นของดิน มีดังต่อไปนี้

- ความชื้นในดิน ความชื้นในดินจะมีผลต่อการอัดแน่นตัวของดิน เนื่องจากแรงกระทำเป็นอย่างมาก ได้มีผลทดสอบการอัดแน่นตัวของดินในดินที่มีความชื้นต่าง ๆ กัน พบว่า ในดินที่มีความชื้นสูงจะมีความสามารถในการบดอัดตัวสูงเช่นกัน ดินเมื่อถูกแรงกระทำจะมีผลทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง เมื่อความชื้นดินมีค่าเพิ่มขึ้นจนอิ่มตัวด้วยน้ำ จะทำให้การบดอัดดินไม่เกิดผลใด ๆ เพราะว่าดินมีน้ำมากเกินไปที่จะเก็บไว้ในช่องว่างดินได้
- อากาศในดิน การบดอัดดินจะทำให้ช่องว่างในดินลดลง แต่อากาศจะไหลออกไปไม่หมด กรณีดินเหนียวอาจจะยังคงมีปริมาณอากาศเหลืออยู่ประมาณ 5% ดินที่ถูกบดอัดตัวจะทำให้อากาศในดินถูกอัดตัวด้วย เมื่อเอาภาระที่กระทำออก แรงดันของอากาศก็จะดันกลับคืนสู่สภาวะเดิมทำให้ดินมีการคืนรูปเดิม (Rebound)
- อินทรียวัตถุในดิน ดินที่มีอินทรียวัตถุมาก และมีความชื้นสูงจะมีความต้านทานต่อการเกิดการบดอัดตัวสูงกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุน้อย แต่ถ้าในสภาพของดินแห้ง ดินที่มีอินทรียวัตถุน้อยจะต้านทานต่อการบดอัดได้ดีกว่า

- การลดการอัดตัวแน่นของดิน การไถพรวนจะทำให้มีการอัดตัวแน่นของดินใต้ชั้นไถพรวน อันเนื่องมากจากน้ำหนักของรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ไถกลายเป็นชั้น เรียกว่าชั้นดินดาน (Plow Pan) ดังนั้นจึงไม่ควรทำการไถพรวนดินจนเกินความจำเป็น และต้องมีการทำลายชั้นดินดานเป็นครั้งคราว และหลีกเลี่ยงการกระทำที่จะก่อให้เกิดการอัดแน่นตัวของดิน ซึ่งสามารถปฏิบัติได้ดังนี้

- หลีกเลี่ยงการใช้เครื่องทุ่นแรงฟาร์มที่มีแรงดันที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างล้อยางกับดินมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิ่งซ้ำรอยเดิมในแปลงเพาะปลูก ค่าแรงดันที่ผิวสัมผัสที่เหมาะสมควรมีค่าต่ำกว่า 70 กิโลปาสคาล
- หลีกเลี่ยงการใช้เครื่องทุ่นแรงฟาร์ม ที่มีการลื่นไถลมากเกินไปในขณะทำงาน เพราะจะมีความหนาแน่นของดินเปลี่ยนแปลงไป
- การใช้ความดันลมยางที่เหมาะสม จะช่วยให้การกระจายน้ำหนักของรถแทรกเตอร์มีความสม่ำเสมอ เช่น การใช้ความดันลมยางที่ต่ำจะทำให้การกระจายน้ำหนักได้ดี
- การลดการไถพรวนไม่เป็นการทำลายโครงสร้างดิน แต่จะเป็นการช่วยลดการอัดตัวแน่นของดิน ทำให้น้ำและอากาศที่อยู่ในดินเกิดการไหลเวียนได้ดี
- หลีกเลียงการไถพรวนที่ความลึกเดิมทุกปี และใช้เครื่องทุ่นแรงฟาร์มอย่างเหมาะสม
- การเตรียมดินที่ถูกวิธี จะช่วยลดการอัดตัวแน่นของดินได้ และเมื่อเกิดชั้นดินดานขึ้นการใช้ไถดินดานเพื่อทำลายชั้นดินดานจะเป็นการปรับสภาพของดินให้ดีขึ้นได้

2.2 การวิเคราะห์ต้นทุน

ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นที่เกษตรกรหรือวิศวกรจำเป็นต้องรู้เพื่อตัดสินใจในการซื้อ และการเลือกซื้อเครื่องจักรกลเกษตรมาลงทุน การตัดสินใจเลือกซื้อเครื่องจักรกลเกษตรมาใช้งาน แม้มีองค์ประกอบหลายอย่างก็ตาม แต่องค์ประกอบที่สำคัญคือ ต้องคำนวณต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลเกษตรนั้น ซึ่งต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลเกษตรจะคิดต่อพื้นที่ เช่น บาทต่อไร่ นำต้นทุนที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับราคาที่เครื่องจักรกลเกษตรแบบเดียวกันรับจ้างทั่ว ๆ ไปก็จะได้ข้อมูลในการตัดสินใจ การคิดต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลเกษตรจำเป็นต้องมีข้อมูลที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงความเป็นจริง เช่น ขีดความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร (Field Capacity) โดยเฉลี่ยซึ่งมีหน่วยเป็นไร่ต่อชั่วโมง อายุการใช้งาน (Service life) ซึ่งมีหน่วยเป็น ชั่วโมงการทำงาน หรือจำนวนปี ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) คือ ราคาของเครื่องจักรกลที่ลดลงเนื่องจากขีดความสามารถลดลง เนื่องจากการใช้งาน ค่าล้าสมัยทำให้หาอะไหล่ซ่อมแซมยาก เครื่องจักรรุ่นใหม่มีขีดความสามารถในการทำงานสูงกว่า ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาประจำปี ค่าน้ำมันหล่อลื่นและสารหล่อลื่น เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะได้จากการสำรวจรวบรวมเป็นระยะเวลาหลาย ๆ ปี แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เนื่องจากไม่สามารถหามาได้จากวิธีการคิดคำนวณโดยตรง ในต่างประเทศได้มีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ไว้แล้วเป็นส่วนใหญ่ทำให้สะดวกในการคำนวณต้นทุน ทำให้ผลออกมาใกล้เคียงความเป็นจริง แต่ในประเทศไทยยังขาดการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ การคำนวณจึงต้องอาศัยข้อมูลจากต่างประเทศ หรือจากประสบการณ์ของผู้คำนวณ ซึ่งอาจทำให้ผลการคำนวณคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไปบ้าง การเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าวในประเทศ โดยขอความร่วมมือจากผู้ใช้ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในการคำนวณดังกล่าวค่อนข้างยาก เพราะบุคคลดังกล่าวอาจไม่เห็นประโยชน์ที่ได้ หรือไม่มีเวลาหรือขาดความเข้าใจในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 วิธีการคิดต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลและต้นทุนคงที่

ประกอบด้วย

- Interest of investment คือ ต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลเกษตรต่อปีที่เกิดจากดอกเบี้ยในการลงทุน คิดคำนวณโดยหาค่าเฉลี่ยของราคาซื้อเครื่องจักรกลและราคาขาย (ซาก) คูณด้วยอัตราดอกเบี้ย ก็จะเป็นต้นทุนที่เกิดจากดอกเบี้ยการลงทุน ยอดต้นทุนดังกล่าวต่อปีจะคงที่ไม่ว่าปริมาณการใช้งานจะมากน้อยเท่าใด

- Depreciation cost คือ ต้นทุนที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรกลเนื่องจากการใช้งาน ความล้าสมัย ขีดความสามารถไม่สามารถสู้เครื่องจักรกลสมัยใหม่ได้ ในการคำนวณดังกล่าวเราจำเป็นต้องทราบอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตร ดังได้กล่าวมาแล้วว่าในประเทศของเรายังขาดข้อมูลในเรื่องนี้ โดยทั่วไปในประเทศการคิดคำนวณส่วนใหญ่จะประเมินอายุ

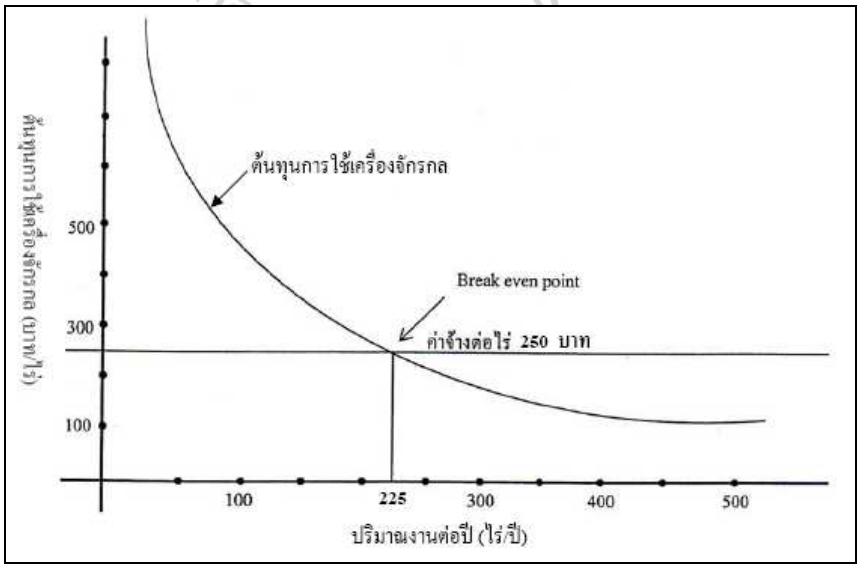
การใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตรไว้ที่ 8 ปี ซึ่งตัวเลขดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลของต่างประเทศ การคิดต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลเกษตร อันเนื่องมาจากการเสื่อมราคามีได้หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีอาจจะให้ผลออกมาแตกต่างกันบ้าง โดยวิธี Straight-line Method เป็นการเสื่อมราคาโดยเฉลี่ยให้ในแต่ละปีมีค่าเสื่อมราคารวมเท่ากัน คำนวณโดยเอาราคาซื้อลบออกราคาซากและหารด้วยอายุการใช้งาน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$D = \frac{(P - S)}{L} \tag{2.2}$$

การคิดค่าเสื่อมราคาด้วยวิธีเส้นตรงนี้เป็นวิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบง่ายที่สุด ค่าเสื่อมราคาต่อปีที่ได้มีค่าคงที่ วิธีเส้นตรงนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับการคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกลเกษตร

2.2.2 Break Even Point

เมื่อนำผลการคำนวณต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่มีสัมพันธ์กับปริมาณการใช้งานต่อปีไปเขียนเป็นเส้นกราฟ จะได้เส้นกราฟลักษณะคล้าย Exponential คือ ต้นทุนจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณการใช้งานต่อปีเพิ่มขึ้นจนถึงระดับปริมาณการใช้งาน ณ จุดหนึ่ง อัตราการลดต้นทุนจะช้าลง จุดที่ต้นทุนต่อพื้นที่เท่ากับราคาที่มีการรับจ้างอยู่ทั่ว ๆ ไปเราเรียกว่าจุด Break even point ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลกับปริมาณงานต่อปี

สามารถคำนวณหา Break even point ได้ 3 วิธี คือ วิธีวิเคราะห์โดยใช้สูตร (พีชคณิต) การหาโดยวิธีคำนวณค่าใช้จ่ายประจำปี (เลขคณิต) และวิธีวิเคราะห์โดยใช้กราฟ

2.2.3 ระยะเวลาในการคืนทุน

หรือ Pay Back Period หมายถึง ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักร หรือ เวลาที่กลับคืนมาของเงินที่ลงทุนไป ค่า PBP จะแสดงถึงผลกำไรที่ได้รับมีค่าเท่ากับการลงทุนซื้อเครื่องจักรในครั้งแรก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$PBP = \frac{P_1}{R} \tag{2.3}$$

2.2.4 การคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

สำหรับการเรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเป็นเจ้าของเครื่องจักรและการจ้างผู้รับจ้างต้องพิจารณาถึงจำนวนพื้นที่ที่เหมาะสมในการเป็นเจ้าของเครื่องจักร หรือจุดคุ้มทุน(Break even point) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$x = \frac{FC}{B - VC} \tag{2.4}$$

จุดคุ้มทุนในการเป็นเจ้าของเครื่องจักร คือ จุดตัดของกราฟ ระหว่างค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องจักร และอัตราค่าจ้าง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรกฤช ตั้งรัตนโสภณ และคณะ (2544) ได้ศึกษาการออกแบบระบบส่งกำลัง และช่วงล่างของเครื่องหว่านปุ๋ยคอก เครื่องหว่านปุ๋ยคอกชนิดแกลบผสมมูลไก่แบบพ่วงรถแทรกเตอร์ 4 ล้อ ขนาด 75 แรงม้า มีส่วนประกอบ 5 ส่วน คือ กระบะใส่ปุ๋ย ใบพัดกระจายปุ๋ย ระบบลำเลียงปุ๋ย ระบบส่งกำลัง และช่วงล่าง โดยการศึกษานี้ได้พิจารณาการออกแบบส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ระบบส่งกำลัง และช่วงล่าง ระบบส่งกำลังจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ โดยจากเพลาอำนวยกำลังต่อเพลาตรงเข้ากับชุดเกียร์ซึ่งออกแบบโดยใช้เฟืองทดให้มีให้มีอัตราทด 3 ระดับ คือ 1:4, 1:3.6, 1:2.4 เพลาที่ออกจากชุดเกียร์จะต่อตรงเข้ากับเฟืองท้ายโดยเฟืองท้ายจะมีอัตราทด 1:7 เฟืองท้ายจะเปลี่ยนทิศทางการหมุนเพื่อจะได้ขับโซ่ลำเลียง ดังนั้นการเปลี่ยนระดับเกียร์จะทำให้เปลี่ยนความเร็วของโซ่ลำเลียงให้ปรับอัตราการหว่านปุ๋ยตามความเหมาะสมของแต่ละ

พื้นที่ และสำหรับการขับใบพัดจะมีการต่อเพลาจากเพลาอำนวยกำลัง โดยใช้มูเลย์และสายพาน ซึ่งมีอัตราทดไปยังใบพัด 1:4.5 ทำให้ใบพัดมีความเร็วในการหว่านคงที่เท่ากับ 933 รอบต่อนาที สำหรับช่วงล่างประกอบด้วย โครงเครื่องทำจากเหล็กรูปตัวซี มีความกว้าง 180 เซนติเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมและสามารถป้องกันการพลิกคว่ำของเครื่องหว่านปุ๋ยขณะขับเคลื่อนล้อมีจำนวน 2 ล้อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76 เซนติเมตร หน้ายางกว้าง16 เซนติเมตร การวางกระบะใส่ปุ๋ยจะวางลงบนเพลาล้อ โดยไม่มีเหล็กแหนบป้องกันการสั่นสะเทือน เนื่องจากมีความเหมาะสมในการใช้งานในแปลงเพาะปลูก และเป็นการลดต้นทุนการผลิต

ชญานิน อารมณ์รัตน์ และคณะ (2544) ได้ดำเนินการทดสอบเครื่องหว่านปุ๋ยคอกแบบแกลบผสมมูลไก่โดยการสร้างแบบจำลองของเครื่องหว่านปุ๋ย ซึ่งประกอบด้วยกระบะใส่ปุ๋ย โซ่ลำเลียงปุ๋ย และใบพัดหว่านปุ๋ย แล้วทำการศึกษาการกระจายของปุ๋ย โดยคำนึงถึงระยะกว้างของการหว่านปุ๋ย ความสม่ำเสมอของปุ๋ยที่หว่าน ซึ่งจากการทดสอบ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องหว่านปุ๋ย คือ ความเร็วรอบของจานหว่านปุ๋ย อัตราการป้อนปุ๋ยของโซ่ลำเลียง และลักษณะใบพัดของจานหว่านปุ๋ย โดยจากการทดลองหว่านปุ๋ยโดยแบบจำลอง พบว่า จากการทดลองที่ความเร็วรอบใบพัด 833 933 และ 1,033 รอบต่อนาที ใบพัดที่ความเร็วรอบ 933 รอบต่อนาที จะให้ช่วงกว้างของการหว่านมากที่สุด และอัตราการป้อนปุ๋ยของโซ่ลำเลียงมีผลต่อความหนาแน่นของปุ๋ยและลักษณะการกระจายของปุ๋ย ซึ่งเป็นส่วนที่ควรจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการเพื่อให้เหมาะสมต่อพื้นที่ ในส่วนของใบพัดหว่านปุ๋ยจากการทดลองสามารถเลือกใช้แบบ จานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 41 เซนติเมตร และมีใบพัดแบบครีบตรง 4 ครีบ ขนาด 0.3 x 15 x 15 เซนติเมตร วางทำมุมกัน 90 องศา สามารถให้ช่วงกว้างในการหว่านปุ๋ยได้มากที่สุด และมีการกระจายปุ๋ยที่สม่ำเสมอดีกว่าแบบอื่น

มงคล กวางวโรภาส (2544) ศึกษาออกแบบสร้างและทดสอบอุปกรณ์เตรียมดินเพื่อทำเทือกนาชนิดพ่วงติดรถไถชนิดนั่งขับ โครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาไถจอบหมุนสำหรับติดตั้งกับรถไถนั่งขับชนิดหักเลี้ยวกลางลำเพื่อใช้เตรียมดินสำหรับทำเทือกนา ไถจอบหมุนนี้มีความกว้างในการทำงาน 80 เซนติเมตร และไถพรวนได้ลึก 15 เซนติเมตร ใช้เครื่องยนต์เบนซินขนาด 5.5 แรงม้า เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลัง ทดและถ่ายทอดกำลังผ่านมูเล่สายพานและเฟืองโซ่มาขับเพลาจอบหมุนซึ่งมีใบมีดพรวนดินชนิดตัวซี จำนวน 24 ใบ ติดตั้งอยู่สามารถยกและวางโดยใช้คันโยกบังคับ จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบของเพลาจอบหมุน 300 350 และ 400 รอบต่อนาที โดยที่ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของรถอยู่ที่ระดับเดียว คือ 0.782 เมตรต่อวินาที เนื่องจากตัวรถมีเกียร์เดินหน้าจังหวะเดียว ความลึกในการไถ 12.34 เซนติเมตร ค่าความแข็งของดิน ที่ได้มีค่าเท่ากับ 8.94 9.21 และ 10.193 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าดรรชนีความเป็นเทือกมีค่า 70.03 75.16 และ 77.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการลื่นไถลของรถมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ

ความเร็วรอบไถจอบหมุนมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทำงานได้ประมาณชั่วโมงละ 0.724 ถึง 0.757 ไร่ สิ้นเปลืองน้ำมันเบนซิน 1.895 ถึง 2.973 ลิตรต่อไร่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วรอบหมุนของเพลาไถจอบหมุน การสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลซึ่งใช้เฉพาะขับเคลื่อนตัวรถเท่ากับ 1.561 ถึง 1.707 ลิตรต่อไร่ จากการทดลองเพื่อหากำลังที่ใช้ขับไถจอบหมุน พบว่า ขณะความเร็วเฉลี่ย 0.732 เมตรต่อวินาที ในแปลงนาที่มีความชื้น 35.619 เปอร์เซ็นต์ (db) ความเร็วรอบไถจอบหมุน 300 350 และ 400 รอบ จะใช้กำลัง 1.034 1.441 และ 2.109กิโลวัตต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ศึกษาการเตรียมดินของเกษตรกรโดยวิธีไถดะ ไถแปร และคราด พบว่า มีค่าความแข็งของดิน 11.088 เซนติเมตร และมีค่าดรรชนีความเป็นเทือก 90.864 เปอร์เซ็นต์

ศรีพงศ์ ตั้งรัตนโสภณ และคณะ (2544) ออกแบบกระบะ ชุดโซ่ลำเลียง และใบพัดของเครื่องหว่านปุ๋ยคอกชนิดแกลบผสมมูลไก่แบบพ่วงรถแทรกเตอร์ 4 ล้อ ขนาด 75 แรงม้า มีส่วนประกอบสำคัญ 5 ส่วน คือ กระบะใส่ปุ๋ย ใบพัดหว่านปุ๋ย ระบบลำเลียงปุ๋ย ระบบส่งกำลัง ช่วงล่าง โดยการศึกษานี้ได้พิจารณาการออกแบบส่วนประกอบ 3 ส่วนด้วยกัน คือ กระบะใส่ปุ๋ย ใบพัดหว่านปุ๋ย และระบบลำเลียงปุ๋ย การออกแบบกระบะใส่ปุ๋ยพิจารณาถึงปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการหว่านหนึ่งครั้งต่อพื้นที่ และความเร็วในการที่จะลำเลียงปุ๋ยไปสู่ใบพัดหว่านปุ๋ย ดังนั้นจึงได้ออกแบบโครงสร้างของกระบะใส่ปุ๋ยขนาด 144 x 300 x 144 เซนติเมตร โดยมีความชันของกระบะ 50 องศา ซึ่งเป็นความลาดชันที่ให้ปุ๋ยเคลื่อนที่ลงระบบลำเลียงได้สะดวก และสามารถบรรจุปุ๋ยได้ 6 ลูกบาศก์เมตร ระบบลำเลียงปุ๋ยเป็นแบบโซ่ลำเลียงคู่ ขนาดโซ่ 8 มิลลิเมตร ยาว 4.5 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร โดยโซ่ 2 เส้นวางห่างกัน 70 เซนติเมตร และมีเหล็กทรงสี่เหลี่ยมตันยึดติดกับข้อโซ่เป็นช่วงห่างกัน 25 เซนติเมตร ซึ่งจะหมุนลำเลียงเคลื่อนที่ไปบนแผ่นเหล็กพื้นกระบะ และลำเลียงปุ๋ยไปสู่ใบพัดหว่านปุ๋ย ใบพัดหว่านปุ๋ยพิจารณามาจากชุดทดลอง ซึ่งจานที่มีค่าการกระจายสูงสุดจะเป็นแบบจานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 เซนติเมตร และมีใบพัดแบบครีบตรงขนาด 0.3 ×15 ×5 เซนติเมตร จำนวน 4 ครีบ วางทำมุมกัน 90 องศา ซึ่งมีแนวโน้มการหว่านปุ๋ยได้ช่วงกว้างมากและมีความสม่ำเสมอของปุ๋ยที่ดีกว่า

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยตามที่ได้กล่าวมาในข้างต้น จึงวางแผนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน คือ

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นต่อการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 วิธีการไถเตรียมดินในนาข้าวและการใส่ปุ๋ยคอก

การศึกษาในขั้นตอนนี้ เพื่อให้ทราบถึงวิธีการในการไถเตรียมดินในนาข้าวและการใส่ปุ๋ยคอกของเกษตรกร และนำเอาข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว โดยรวมสองขั้นตอนให้อยู่ในเครื่องเดียวกันเพื่อลดการอัดแน่นของหน้าดินและลดต้นทุนในการผลิตข้าวของเกษตรกร

3.1.2 ขนาดของปุ๋ยคอก

การศึกษาในขั้นตอนนี้ กระทำโดยการนำตัวอย่างปุ๋ยคอกที่เกษตรกรใช้มาร่อนในตะแกรงที่มีความละเอียดของรูตะแกรงขนาดต่าง ๆ 5 ขนาด คือ เบอร์ 10 มีขนาดของช่องเปิดของตะแกรงเท่ากับ 2 มิลลิเมตร เบอร์ 18 มีขนาดของช่องเปิดของตะแกรงเท่ากับ 1 มิลลิเมตร เบอร์ 35 มีขนาดของช่องเปิดของตะแกรงเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร เบอร์ 60 มีขนาดของช่องเปิดของตะแกรงเท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร เบอร์ 140 มีขนาดช่องเปิดของตะแกรงเท่ากับ 0.105 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบช่องทางออกของปุ๋ยคอก

- วิธีดำเนินการวิจัยเพื่อหาขนาดของปุ๋ยคอก
  - เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย
    - ปุ๋ยคอก
    - ชุดตระแกรงแยกขนาด
    - เครื่องชั่งน้ำหนัก

- ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
  - ชั่งน้ำหนักของตะแกรงแยกขนาดทีละชั้น 5 ชั้น บันทึกผล
  - นำปุ๋ยคอกตัวอย่าง 100 กรัม เทใส่ลงในชุดตะแกรงแยกขนาดจากนั้นออกแรงเขย่าด้วยแรงคงที่นาน 10 นาที
  - แยกชุดตะแกรงแต่ละชั้นออกเพื่อนำปุ๋ยคอกที่ค้างอยู่ในตะแกรงแต่ละชั้นไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าน้ำหนักของปุ๋ยคอกที่คงค้างอยู่ในตะแกรง
  - บันทึกและวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.1.3 รถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง

การศึกษาในขั้นตอนนี้ กระทำโดยการศึกษารถแทรกเตอร์ในส่วนของกำลังของแขนที่ใช้ยกอุปกรณ์ต่อพ่วง การต่อพ่วงกับจอบหมุน

- รถแทรกเตอร์คูโบต้ารุ่น L4508 ขนาด 46 แรงม้า ข้อมูลจำเพาะที่จำเป็น คือ
  - น้ำหนักยกสูงสุดที่ปลายแขนยก 1,300 กิโลกรัม
  - ความเร็วเดินหน้า 2 ถึง 24.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- จอบหมุนตราช้าง รุ่น RX180F ข้อมูลจำเพาะที่จำเป็น คือ
  - สัดส่วน $1{,}930 \times 850 \times 1{,}060$ มิลลิเมตร
  - น้ำหนัก 345 กิโลกรัม
  - ความกว้างของงานที่ทำได้ 1,750 มิลลิเมตร
  - ความเร็วรอบ (เพลาใบมีด/เพลาอำนวยกำลัง) 232/540 รอบต่อนาที

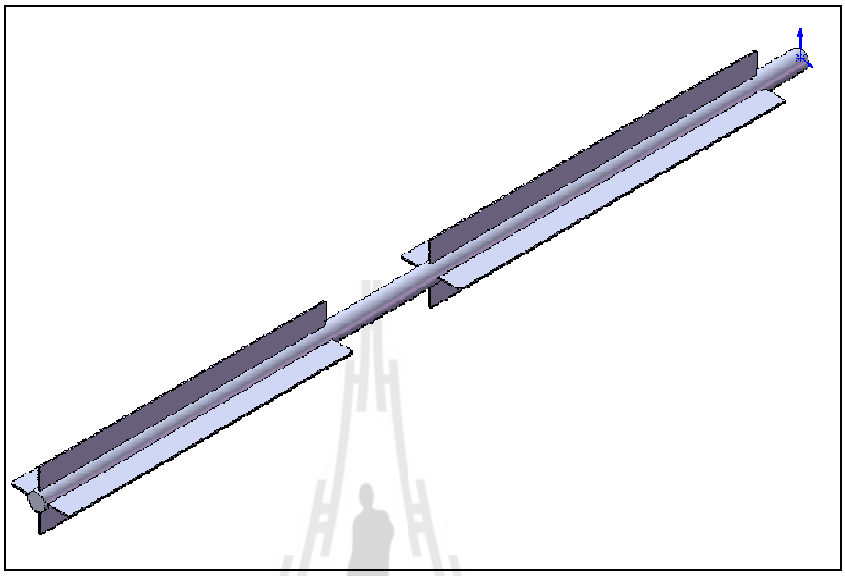
3.2 การสร้างชุดทดลอง

การสร้างชุดทดลองนี้ จัดทำขึ้นเพื่อ ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับใบกวาดปุ๋ยที่มีความเหมาะสมในการกวาดปุ๋ยคอกออกจากถังบรรจุปุ๋ยคอก

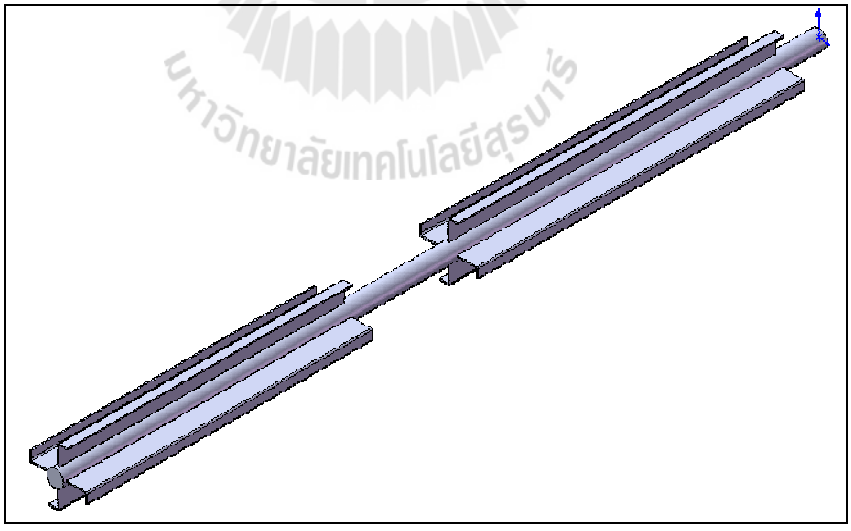
3.2.1 เกณฑ์ในการออกแบบกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอก

การพิจารณาอุปกรณ์ที่ใช้ในการลำเลียงปุ๋ยคอกจากถังบรรจุปุ๋ยคอก ให้ไหลออกจากถังลงสู่พื้นดินในแปลงนานั้น ผู้วิจัยมีความประสงค์ให้อุปกรณ์ตัวนี้ทำหน้าที่เป็นเหมือนประตูเปิด/ปิด ถังบรรจุปุ๋ยด้วย ทำงานด้วยการส่งกำลังจากเพลาขับใบมีดของจอบหมุนมายังเพลาขับของอุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ย (ใบกวาดปุ๋ยคอก) เมื่อจอบหมุนหยุดการทำงานมีผลให้ใบกวาดปุ๋ยคอกหยุดการทำงานและปิดถังบรรจุปุ๋ยคอกพอดี ทำให้ไม่มีปุ๋ยคอกร่วงหล่นมาในตำแหน่งที่ยังไม่มีการทำงานหรือไม่ต้องการ โดยที่ใบกวาดจะถูกแบ่งออกเป็นแบบ 4 ใบ คือ แต่ละใบวางทำมุม 90 องศา แบบ 6 ใบ คือ แต่ละใบวางทำมุม 60 องศา และแบบ 8 ใบ คือ แต่ละใบวางทำมุม 45 องศา ซึ่งทั้ง

3 แบบจะมีทั้งหมด 3 ชนิด คือ ทรงตรง รูปทรงแอล และรูปทรงตัวซี ดังแสดงในรูปที่ 3.1 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

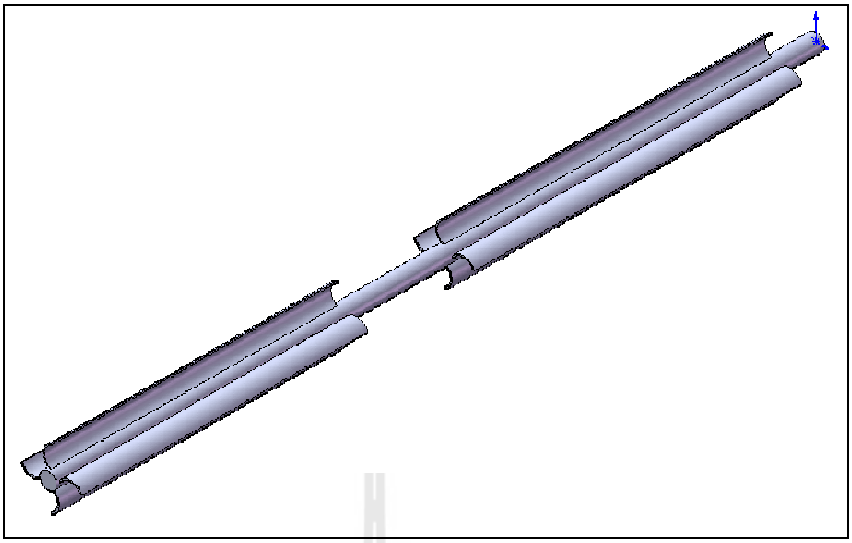


รูปที่ 3.1 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 4 ใบ ชนิดรูปทรงตัวตรง

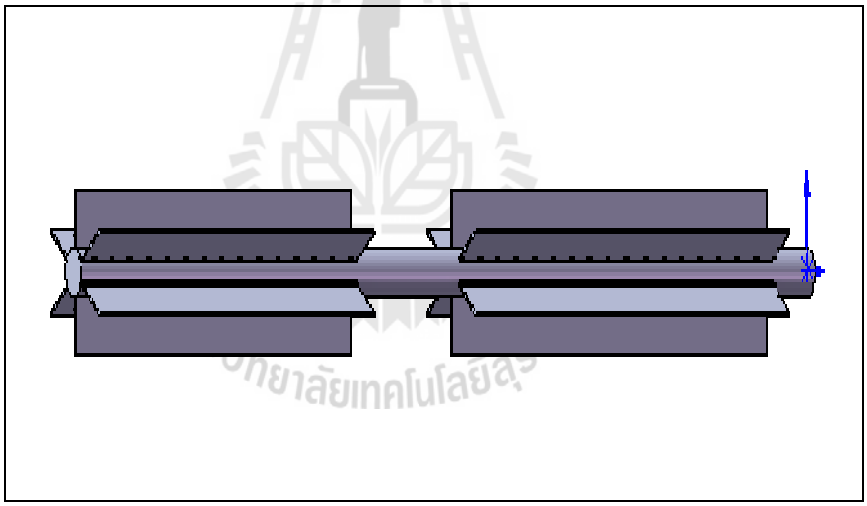


รูปที่ 3.2 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 4 ใบ ชนิดรูปทรงตัวแอล

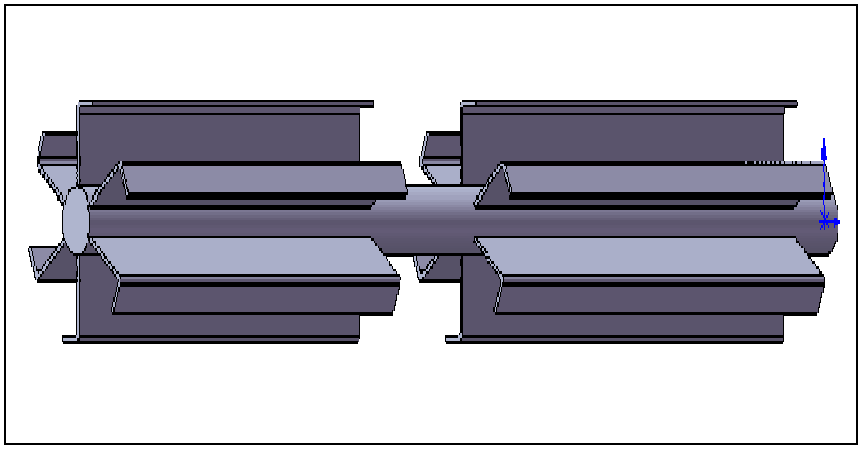
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



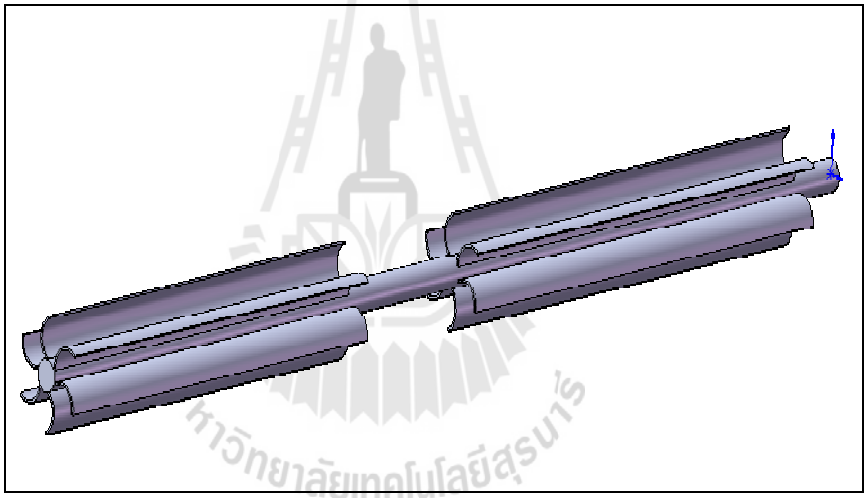
รูปที่ 3.3 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 4 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี



รูปที่ 3.4 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวตรง

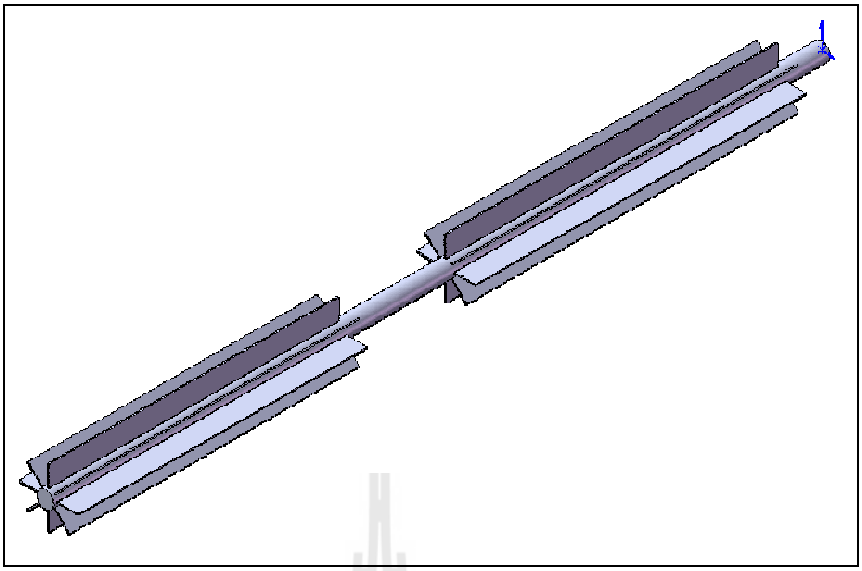


รูปที่ 3.5 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวแอล

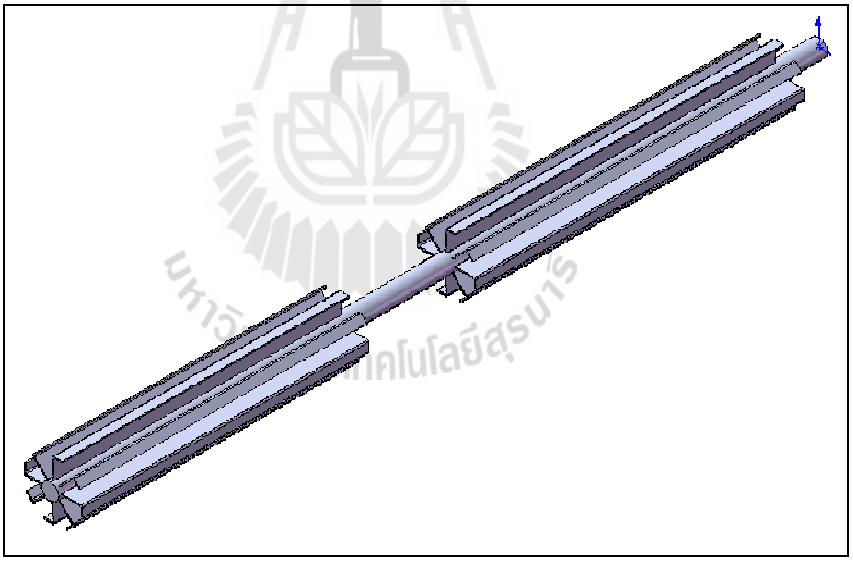


รูปที่ 3.6 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี

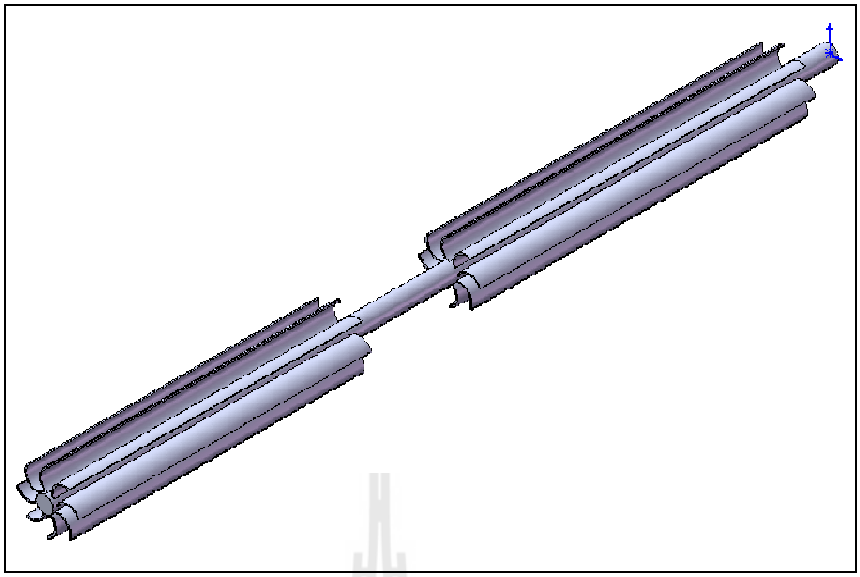
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.7 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 8 ใบ ชนิดรูปทรงตัวตรง



รูปที่ 3.8 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 8 ใบ ชนิดรูปทรงตัวแอล



รูปที่ 3.9 กลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอกแบบ 8 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี

3.2.2 วิธีดำเนินการวิจัยเพื่อทดสอบการทำงานของชุดทดลอง

- ปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย
  - จำนวนใบกวาดปุ๋ย 3 ระดับ (4, 6, 8 ใบ)
  - ชนิดของใบกวาด 3 ชนิด (รูปทรงตัวตรง รูปทรงตัวแอล รูปทรงตัวซี)
- ค่าชี้ผลในการดำเนินงานวิจัย

จำนวนและชนิดของใบกวาดปุ๋ยที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานของแบบจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกบนจอบหมุนฯ

- เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย
  - ชุดจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงบนจอบหมุนฯ
  - เครื่องปรับรอบมอเตอร์
  - เครื่องวัดความเร็วรอบ
  - เครื่องชั่งน้ำหนัก
  - นาฬิกาจับเวลา
  - ปุ๋ยคอก
- ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
  - จัดชุดทดลองที่ต่อเข้ากับเครื่องปรับรอบมอเตอร์แล้ว
  - ติดตั้งใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปทรงตัวตรง แบบ 4 ใบกวาด เข้ากับชุดทดลอง

• เปิดสวิตซ์ พร้อมทั้งทำการปรับความเร็วรอบของเพลาใบกวาดปุ๋ยคอกให้ได้ที่ 232 รอบต่อนาที

• นำปุ๋ยคอกตัวอย่างที่มีน้ำหนัก 6 กิโลกรัม เทลงในถังบรรจุปุ๋ยคอก เปิดประตูให้ปุ๋ยเคลื่อนที่ลงผ่านใบกวาดปุ๋ยคอก จับเวลาที่ปุ๋ยเริ่มเคลื่อนที่ผ่านใบกวาดปุ๋ยคอกจนหมดถังบรรจุ สังเกตการณ์เคลื่อนที่ของปุ๋ยคอก และบันทึกผล

• ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อ 2 ถึง 4 อย่างละ 5 ซ้ำ ในแต่ละชนิดและระดับใบกวาดปุ๋ย บันทึกและวิเคราะห์ผล

3.3 การออกแบบเครื่องต้นแบบ

จากการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบตัวเครื่องเรียบร้อยแล้ว จึงได้ดำเนินการออกแบบเครื่องต้นแบบ ดังนี้

3.3.1 เกณฑ์ในการออกแบบถังบรรจุปุ๋ยคอก

เกณฑ์ในการออกแบบเครื่องต้นแบบมีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- สามารถใส่ปุ๋ย แล้วไถกลบได้ในครั้งเดียว
- ใช้รถแทรกเตอร์คูโบต้ารุ่น L4508 46 แรงม้า เป็นต้นกำลัง
- ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน
- กลไกการทำงานของเครื่อง ทำงานง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถปฏิบัติงานได้สะดวกและปลอดภัย
- การบำรุงรักษาง่าย ชิ้นส่วนที่ชำรุดสามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย และมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด
- ความสูงของถังบรรจุต้องไม่มากจนเป็นอุปสรรคในการเทปุ๋ย

3.3.2 การคำนวณเกี่ยวกับถังบรรจุปุ๋ยคอก

ต้องการให้ความสูงของถังบรรจุสูงไม่เกิน 1 เมตร เพื่อให้สะดวกในการเทปุ๋ยใส่ถังบรรจุ และเพื่อทัศนะวิสัยด้านหลังที่ชัดเจน

- น้ำหนักของเครื่องโรยปุ๋ยคอกรวมปุ๋ยคอก
  = น้ำหนักยกสูงสุดที่ปลายแขน - น้ำหนักจอบหมุน
  = 1,300 - 345 กิโลกรัม
  = 955 กิโลกรัม

- น้ำหนักสูงสุดของเครื่องโรยปุ๋ยคอก
  = น้ำหนักรวมของเครื่องโรยปุ๋ยคอก - น้ำหนักปุ๋ยคอก
  = 955 - 600 กิโลกรัม
  = 355 กิโลกรัม

ปริมาตรของถังบรรจุปุ๋ยคอกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม และส่วนล่างที่มีรูปทรงสามเหลี่ยม

- ปริมาตรส่วนบนของถังบรรจุที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม

$$Volume = wide \times length \times Deep \tag{3.1}$$

เมื่อ *wide* = 0.85 เมตร
Length = 1.75 เมตร
Deep = 0.6 เมตร

แทนค่า $Volume = 0.85m \times 1.75m \times 0.6m = 0.89m^3$

- ปริมาตรส่วนล่างมีรูปทรงสามเหลี่ยม

$$Volume = \frac{1}{2} \times wide \times Length \times Deep \tag{3.2}$$

เมื่อ *wide* = 0.85 เมตร
Length = 1.75 เมตร
Deep = 0.4 เมตร

แทนค่า $Volume = \frac{1}{2} \times 0.85m \times 1.75m \times 0.4m = 0.30m^3$

- ปริมาตรรวมของถังบรรจุ
  = ปริมาตรส่วนบน + ปริมาตรส่วนล่าง
  = 0.89 m^3 + 0.30 m^3
  = 1.19 m^3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ความสูงของถังบรรจุ
  - = ความสูงของถังส่วนบน + ความสูงถังส่วนล่าง
  - = 0.6 + 0.4
  - = 1.0 *m*
- ขนาดมวลของปุ๋ยคอกที่บรรจุในถังบรรจุปุ๋ย

$$m = \rho v \tag{3.3}$$

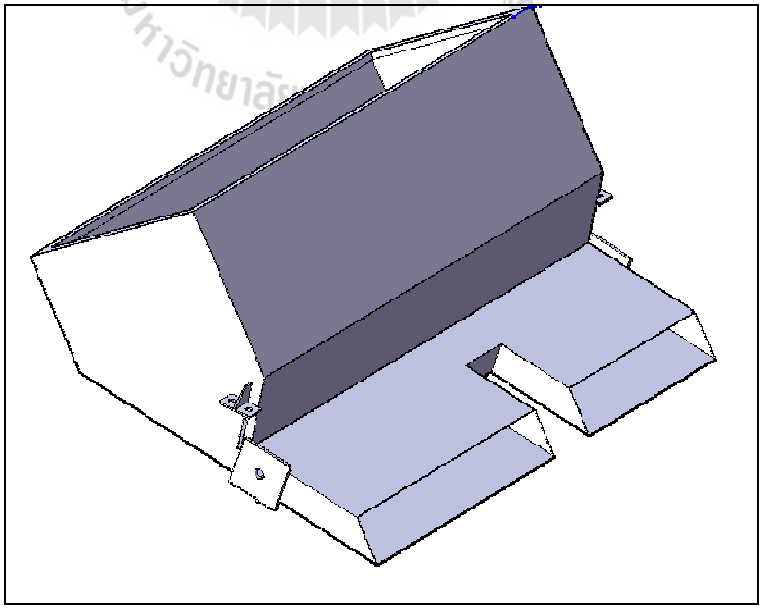
เมื่อ m = น้ำหนักของปุ๋ยคอก, kg

ρ = ความหนาแน่นของปุ๋ยคอก, 300 kg/m^3

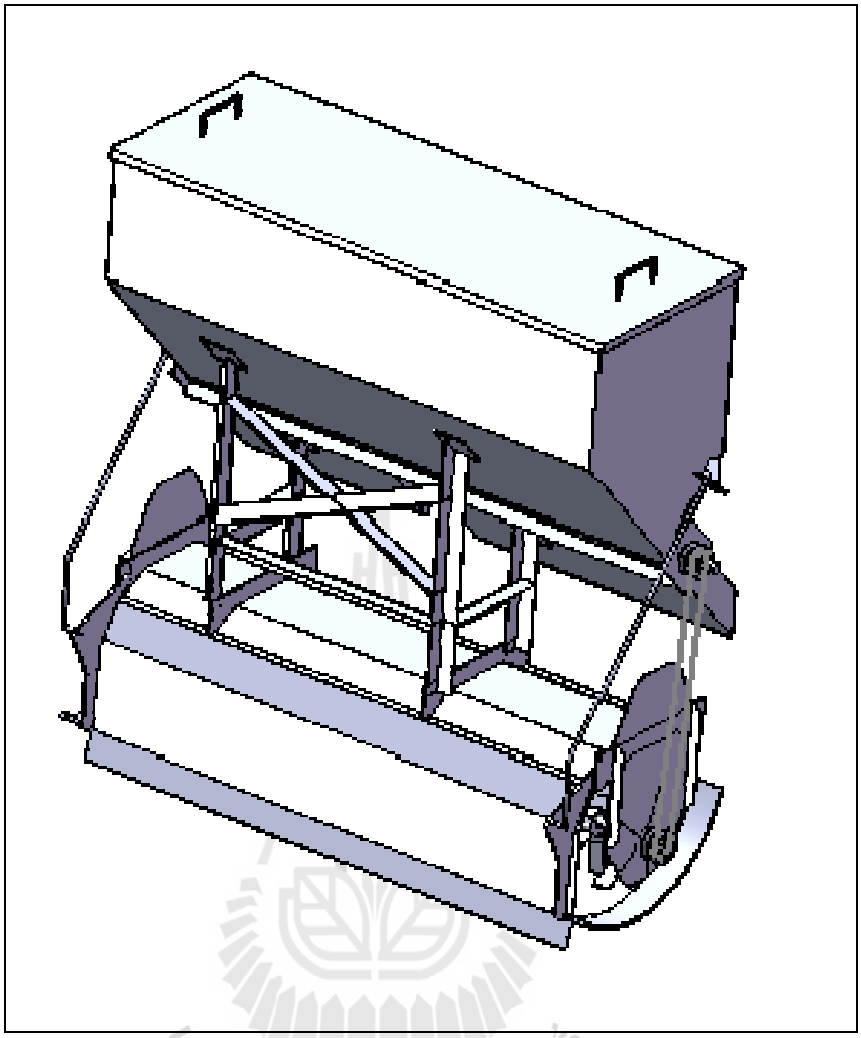
V = ปริมาตรของถังบรรจุปุ๋ยคอก, 1.19 m^3

แทนค่า $m = (300\frac{kg}{m^3})(1.19m^3) = 357kg$

ดังนั้นจึงต้องมีการเติมปุ๋ยคอก 2 ครั้ง บนพื้นที่หนึ่งไร่ที่มีความต้องการปุ๋ยคอก 600 กิโลกรัม และได้แสดงลักษณะของถังบรรจุปุ๋ยคอกไว้ในรูปที่ 3.10 และ 3.11



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างถังบรรจุปุ๋ยคอก



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างเครื่องต้นแบบ

3.3.3 วิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรม Simulation

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องต้นแบบที่ทำการออกแบบมาในหัวข้อ 3.3 เพื่อตรวจสอบจุดศูนย์ถ่วง ความแข็งแรงของเครื่องโรยปุ๋ยคอก ว่าจะเกิดความเสียหายที่ตำแหน่งใด หากต้องทำงานจริง เพื่อเสริมโครงสร้าง หรือปรับปรุงให้เครื่องที่จะทำการสร้างขึ้นมีความแข็งแรง โดยการสมมติให้ปุ๋ยที่บรรจุลงไปในถังเป็นเสมือนแรงคงที่ที่กระทำกับเครื่องโรยปุ๋ยคอก เพราะในสภาพของการทำงานจริงแรงที่มากระทำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

3.4 การสร้างเครื่องต้นแบบ

สำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบนั้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างให้มีขนาด และรูปร่าง ที่เป็นไปตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.3 คือ ให้เครื่องต้นแบบสามารถใส่ปุ๋ยและไถกลบได้ในครั้งเดียว โดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาดกลางเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ความสูงของถังบรรจุเมื่อติดตั้งเข้ากับจอบหมุนแล้วต้องไม่มากจนเป็นอุปสรรคในการเทปุ๋ย มีกลไกในการทำงานของเครื่องที่ง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถทำการบำรุงรักษาได้ง่ายและสะดวก ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คนโดยที่ชิ้นส่วนที่ชำรุดสามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย และมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด

3.5 การทดสอบ

3.5.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

- ปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

  ความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ 3 ระดับ (เกียร์ช้า)
- ค่าชี้ผลในการดำเนินงานวิจัย
  - ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่

$$C_a = \frac{A}{T_t} \tag{3.12}$$

เมื่อ C_a = ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่, (ไร่ต่อชั่วโมง)

A = พื้นที่ในการทำงาน, (ไร่)

T_t = เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด, (ชั่วโมง)

  - ประสิทธิภาพในการทำงาน

$$E_f = \frac{T_e}{T_t} \times 100 \tag{3.13}$$

เมื่อ E_f = ประสิทธิภาพในการทำงาน, (%)

T_e = เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง, (ชั่วโมง)

T_t = เวลาที่เครื่องจักรใช้ในการปฏิบัติงานทั้งหมด รวมทั้งเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการเลี้ยว การหยุด และการปรับตั้งเครื่องจักร, (ชั่วโมง)

- อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, (ลิตรต่อไร่)

$$= \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ในการทำงานจริง}}$$

- ความสามารถในการใส่ปุ๋ยต่อพื้นที่, (กิโลกรัมต่อไร่)

$$= \frac{\text{ปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบ}}{\text{พื้นที่ในการทำงานจริง}}$$

- ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ, (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

= ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่ × ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่

- ความหนาแน่นของดินสภาพแห้ง ภายหลังการบดอัด

■ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

- เครื่องต้นแบบ
- รถแทรกเตอร์คูโบต้า
- เครื่องวัดความเร็วรอบ
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- นาฬิกาจับเวลา
- ปุ๋ยคอก
- เทปวัดระยะทาง
- กระบอกตวง
- เสาไม้สำหรับปักหลักเขต
- เครื่องวัดแรงฉุดลาก
- เชือกฟาง

■ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- ทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกต่อพื้นที่โดยการใช้วัสดุปูรองบนแปลงทดสอบ โดยทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ขนาดเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จากนั้นจึงเดินรถทั่วทั้งแปลงทดสอบเพื่อบันทึกผลการกระจายตัว (สุ่มเก็บตัวอย่าง)
- ปรับพื้นที่ที่จะทำการทดสอบให้มีสภาพเหมือนจริง แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงเล็ก ๆ ขนาดกว้าง 15 เมตร ยาว 40 เมตร จำนวน 9 แปลง
- ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ ในขณะที่บรรจุปุ๋ยคอกโดยการเดินเครื่องที่ความเร็ว 3 ระดับ (เกียร์ต่ำ) ระดับละ 3 ซ้ำในแปลงทดลอง จับเวลาเพื่อบันทึกปริมาณ

ปุ๋ยคอกที่เครื่องสามารถจ่ายได้ต่อพื้นที่ และบันทึกอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถแทรกเตอร์จากสภาพการทำงานในแปลงทดสอบ

- ทดสอบความสามารถในการฉุดลากของรถแทรกเตอร์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ
- วิเคราะห์ผล

5.1	5.2	5.3	ตัวเลขตัวหน้า คือ แถวที่ ตัวเลขตัวหลัง คือ ช่องที่
4.1	4.2	4.3	
3.1	3.2	3.3	
2.1	2.2	2.3	
1.1	1.2	1.3	

รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างช่องเก็บตัวอย่างการกระจายปุ๋ยจากเครื่องต้นแบบ

3.6 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์ผลในทางเศรษฐศาสตร์นั้น ผู้วิจัยจะทำการคำนวณเกี่ยวกับจุดคุ้มทุนและอัตราผลตอบแทนที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องต้นแบบ

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะอธิบายผลการวิจัย และวิเคราะห์ผล ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ส่วน โดยในส่วนที่ 1 แสดงถึงขนาดของปุ๋ยคอก ที่ต้องนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการออกแบบเครื่องต้นแบบส่วนที่ 2 แสดงผลของแบบและชนิดใบกวาดปุ๋ยคอก ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับเครื่องต้นแบบ ส่วนที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเครื่อง ส่วนที่ 4 แสดงผลการทดสอบภาคสนามของเครื่องต้นแบบ ส่วนที่ 5 และส่วนที่ 6 วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ ที่เกิดขึ้นกับเครื่องต้นแบบ

4.1 ผลการทดลองหาขนาดของปุ๋ยคอก

จากการทดลองหาขนาดของปุ๋ยคอกที่เกษตรกรนิยมใช้ ด้วยตะแกรงร่อนพบว่า ปุ๋ยคอกมีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น ๆ โดยมีการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ สามารถแตกออกจากกันได้ง่ายเมื่อมีแรงมากระทำ โดยสามารถดูรูปร่างของปุ๋ยคอกได้จากรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่ได้จากตะแกรงร่อน

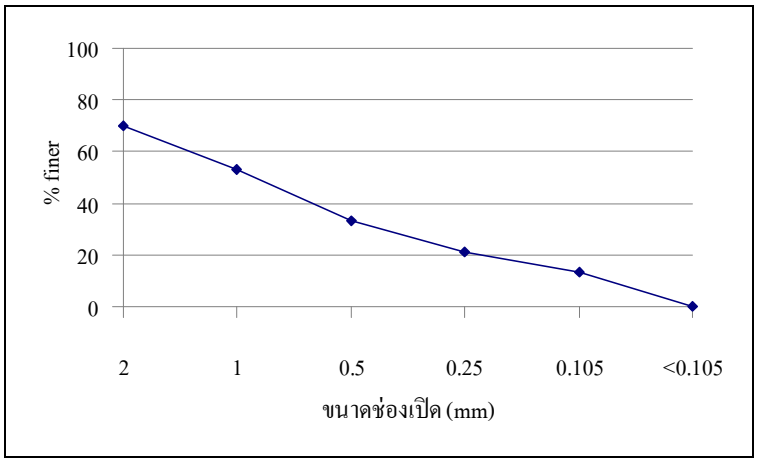
จากนั้นนำปุ๋ยคอกที่ผ่านการร่อนเพื่อหาขนาดของปุ๋ยคอกแล้วมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดของปุ๋ยคอกที่ถูกคัดแยกด้วยตะแกรงร่อน

รายการ	ขนาดของช่องเปิดตะแกรง (มิลลิเมตร)					
	2	1	0.5	0.25	0.105	เล็กกว่า 0.105
	(เบอร์ 10)	(เบอร์ 18)	(เบอร์ 35)	(เบอร์ 60)	(เบอร์ 140)	
น้ำหนักปุ๋ยคอก (g)	30	17	20	12	8	13

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ปุ๋ยคอกที่เกษตรกรนิยมนำไปใส่ในนาข้าวนั้น สามารถแยกขนาดได้ทั้งหมด 6 ขนาดด้วยกัน คือ ขนาดที่ 1 เป็นขนาดที่เล็กสุดที่วัดจากด้านที่กว้างที่สุดของปุ๋ยคอกประมาณ 0.105 มิลลิเมตร มีจำนวน 13% โดยมีลักษณะเป็นฝุ่นผงเล็ก ๆ ขนาดที่ 2 โตขึ้นมา คือ ขนาด 0.25 มิลลิเมตร มีจำนวน 21% เป็นปุ๋ยคอกที่มีความหยาบเล็กน้อย ขนาดที่ 3 มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีจำนวน 33% เป็นปุ๋ยคอกที่มีความหยาบเพิ่มมากขึ้น ขนาดที่ 4 มีขนาด 1 มิลลิเมตร มีจำนวน 53% เป็นปุ๋ยคอกที่มีสิ่งปลอมปนผสมอยู่ด้วย ขนาดที่ 5 ที่สามารถแยกได้มีขนาด 2 มิลลิเมตร มีจำนวน 70% ปุ๋ยคอกมีการจับตัวกันหลวม ๆ และมีสิ่งปลอมปนอยู่บ้าง ซึ่งเป็นขนาดที่มีปริมาณปุ๋ยคอกมากที่สุด และขนาดที่ 6 เป็นปุ๋ยคอกที่เหลือที่มีขนาดโตกว่า 2 มิลลิเมตร จะเป็นปุ๋ยคอกที่มีการจับตัวกันเป็นก้อนแน่น รวมถึงมีสิ่งปลอมปนอยู่ด้วยโดยมีขนาดแตกต่างกันไป แต่หากเพิ่มแรงกระทำกับก้อนปุ๋ยที่จับตัวกันโดยการใช้มือขยี้ก้อนปุ๋ยคอกเหล่านั้นก็จะสามารถทำให้ปุ๋ยเกิดการแตกตัวออกจากกันได้

จากนั้นนำผลที่ได้จากตารางที่ 4.1 ไปวาดกราฟเพื่อแสดงถึงปริมาณของปุ๋ยคอกที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของปุ๋ยคอกที่ใช้ทดสอบ

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ปุ๋ยคอกที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนมีปริมาณของการกระจายตัวที่แปรผันตามขนาดของช่องเปิดของตะแกรงร่อน คือ ที่ช่องเปิดของตะแกรงที่มีขนาดใหญ่สุดจะมีปริมาณการกระจายตัวของปุ๋ยคอกในปริมาณที่สูงที่สุดและจะมีปริมาณการกระจายตัวของปุ๋ยคอกที่ลดลงเรื่อย ๆ ตามขนาดของตะแกรงร่อนที่เล็กลงเช่นกัน

สรุปจากการทดลองคัดแยกขนาดของปุ๋ยคอกด้วยตะแกรงร่อน พบว่า การทดลองนี้สามารถคัดแยกปุ๋ยคอกได้ 5 ขนาด คือ ขนาดที่มีเฉพาะปุ๋ยคอกไม่มีสิ่งปลอมปน 1 ขนาด คือ ขนาดที่มีด้านที่โตสุดของปุ๋ยคอกโตไม่เกิน 0.105 มิลลิเมตร และอีก 4 ขนาดที่มีขนาดที่โตกว่า 0.105 มิลลิเมตร จะเป็นขนาดที่มีสิ่งปลอมปนผสมอยู่กับเนื้อปุ๋ยคอกโดยมีปริมาณและขนาดของสิ่งปลอมปนที่แตกต่างกันไปตามขนาดของช่องเปิดของตะแกรง

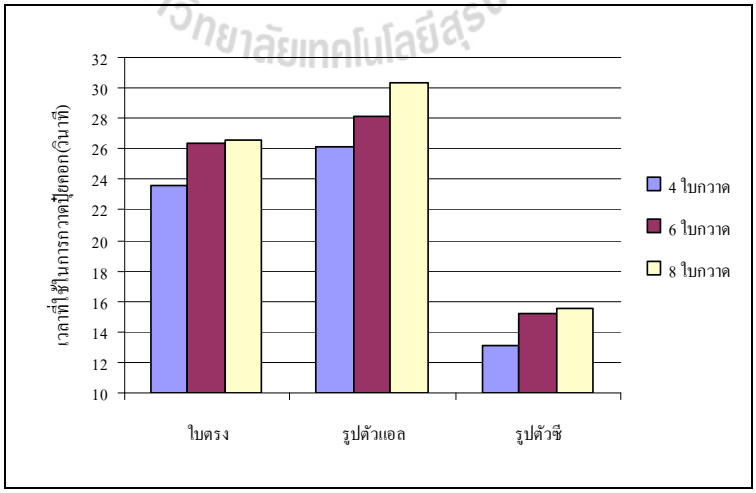
4.2 ผลการทดสอบชุดจำลองเพื่อหารูปร่างและจำนวนของใบกวาดปุ๋ยคอกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับเครื่องต้นแบบ

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบการกวาดปุ๋ยคอกจากถังบรรจุครั้งละ 6 กิโลกรัม ในชุดจำลองเพื่อให้ทราบว่าใบกวาดปุ๋ยที่มีชนิดและรูปร่างใด เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานกับเครื่องต้นแบบ โดยผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความสามารถในการกวาดปุ๋ยคอกของใบกวาด ที่ความชื้นของปุ๋ยคอก 15% (db)

ชนิดของใบกวาด	จำนวนใบกวาด	ผลการทดลอง (วินาที)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
ใบตรง	4	25.5	20.4	24.3	24.2	23.4	23.56
	6	29.13	24.07	25.09	25.45	26.19	26.39
	8	28.39	26.27	25.11	26.48	26.55	26.56
รูปตัวแอล	4	27.32	25.49	26.51	25.34	26.23	26.18
	6	29.2	27.4	27.1	27.2	27.5	28.1
	8	29.32	30.45	30.38	29.46	30.23	30.37
รูปตัวซี	4	12.1	12.05	13.35	12.45	13.48	13.09
	6	14.3	13.5	17.1	14.1	15.2	15.23
	8	15.48	15.27	16.39	15.21	15.57	15.58

จากนั้นนำผลการทดลองที่บันทึกได้ในตารางที่ 4.2 มาวาดกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของใบกวาดปุ๋ยได้ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการกวาดปุ๋ยคอก
ของใบกวาดลักษณะต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.3 พบว่า ใบกวาดปุ๋ยคอกแบบ 4 ใบกวาด ในทุกรูปร่างของใบกวาด สามารถทำเวลาในการกวาดปุ๋ยคอกได้ดีกว่าแบบ 6 และ 8 ใบกวาด ด้วยระยะห่างระหว่างใบกวาดที่กางทำมุมห่างกัน 90 องศา ซึ่งทำให้สามารถรับปุ๋ยคอกได้มากกว่า ดังนั้นจึงสามารถกวาดปุ๋ยออกจากถังบรรจุได้มากและง่ายกว่าทั้ง 2 แบบ ในใบกวาดปุ๋ยแบบ 8 ใบกวาด ในทุกรูปร่างของใบกวาด ใช้เวลาในการกวาดปุ๋ยมากที่สุด เพราะระยะห่างระหว่างใบกวาดแต่ละใบทำมุมเพียง 45 องศา จึงทำให้ปุ๋ยคอกเข้าไปติดระหว่างใบกวาดแต่ละใบแล้วทำให้เกิดการสะสมจนเต็ม ส่งผลให้ใบกวาดหมุนโดยอิสระและไม่สามารถกวาดปุ๋ยได้ และในใบกวาดปุ๋ยแบบ 6 ใบกวาด ในทุกรูปร่างของใบกวาดสามารถกวาดปุ๋ยได้เช่นเดียวกับแบบ 4 ใบกวาด แต่ใช้เวลามากกว่าเพราะช่วงของใบกวาดที่แคบมากกว่าแบบ 4 ใบกวาด คือ แต่ละใบกวาดห่างกัน 60 องศา จึงทำให้กวาดปุ๋ยได้น้อยกว่าแบบ 4 ใบกวาด

จากการทดสอบรูปร่างใบกวาดปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด พบว่า ใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปตัวซี ใช้เวลาในการกวาดปุ๋ยน้อยกว่าใบกวาดปุ๋ยชนิดอื่น เพราะมีความโค้งตรงกลางใบ ทำให้สามารถเก็บปุ๋ยในทุกจังหวะของการกวาดได้มากกว่าใบตรงและรูปตัวแอล

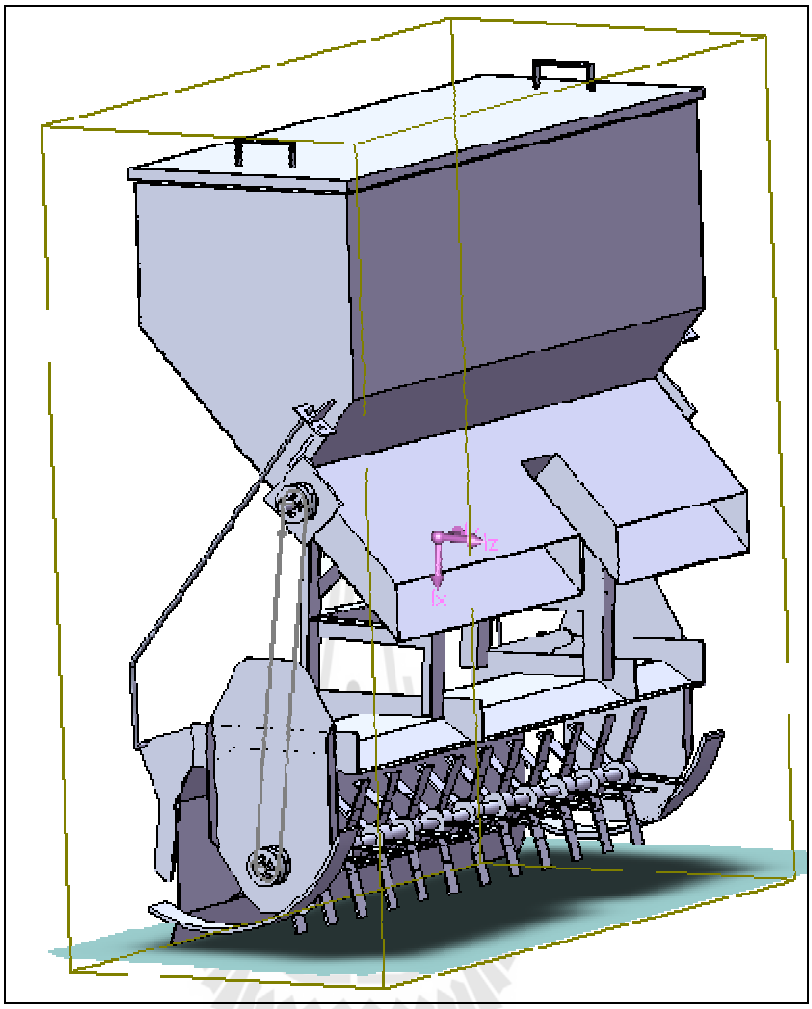
ผลการทดลองข้างต้น พบว่า ใบกวาดปุ๋ยรูปตัวซีแบบ 4 ใบกวาด เป็นชนิดที่มีความสามารถในการกวาดปุ๋ยมากกว่าทุกชนิด แต่มีข้อเสียคือ เปลืองปุ๋ยคอกมากกว่าแบบอื่น ๆ หากนำไปใช้เป็นใบกวาดปุ๋ยในเครื่องต้นแบบ ดังนั้นจึงเลือกใช้ใบกวาดชนิดรูปตัวซีแบบ 6 ใบกวาด ที่ใช้เวลาในการกวาดปุ๋ยคอกมากกว่าแบบ 4 ใบกวาด แต่สิ้นเปลืองปุ๋ยคอกน้อยลง

4.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องต้นแบบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ จุดศูนย์ถ่วงของเครื่อง ถังบรรจุปุ๋ยคอก โครงขาตั้งเครื่อง ใบกวาด และความถี่ธรรมชาติ

4.3.1 ผลการวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วงของเครื่องต้นแบบ

ในการวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วงของเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรมพบว่า จุดศูนย์ถ่วงของเครื่องต้นแบบอยู่ที่ตำแหน่ง ด้านยาวในแนวแกน y ที่ -68.59 มิลลิเมตรด้านกว้างในแนวแกน x ที่ 130.80 มิลลิเมตร และด้านสูงในแนวแกน z ที่ -542.87 มิลลิเมตรดังแสดงรูปที่ 4.4

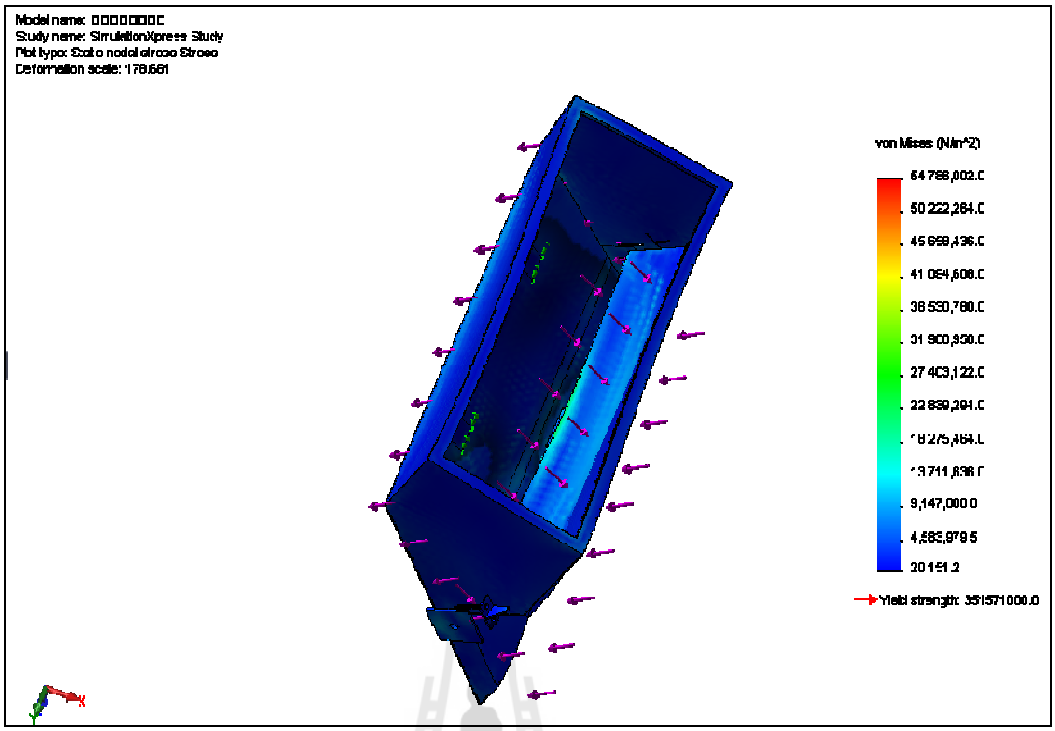


รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของเครื่องต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยคอก

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยคอก เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับถังบรรจุเมื่อมีปุ๋ยคอกเต็มถังบรรจุ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5

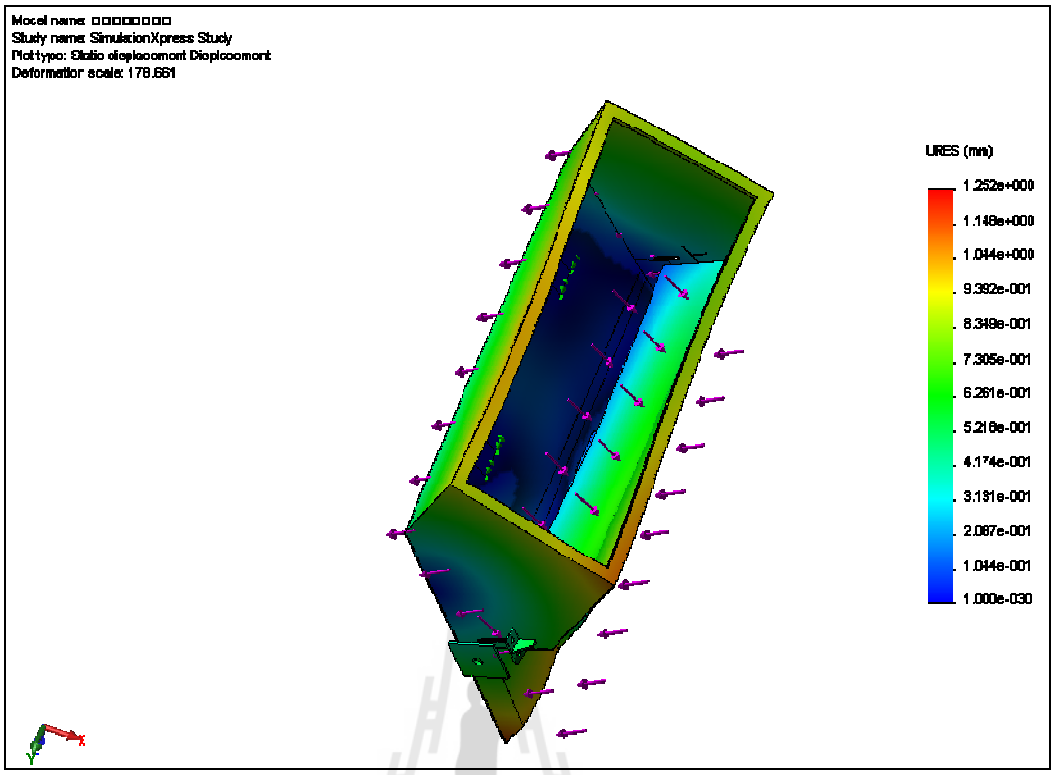


รูปที่ 4.5 แสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นกับถังบรรจุปุ๋ยจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.5 เป็นผลการวิเคราะห์ความเค้นของถังบรรจุปุ๋ยคอก พบว่า ความเค้นสูงสุดของถังบรรจุปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 5.47e+007 MN/m^2 ที่ตำแหน่ง -474.11 มิลลิเมตร 234.99 มิลลิเมตร และ 485.60 มิลลิเมตร โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 7 ที่ตำแหน่งที่ระบุข้างต้นนี้จะเป็นตำแหน่งที่สามารถเกิดความเสียหายได้ก่อนจุดอื่น

สาเหตุที่กำหนดให้ถังบรรจุปุ๋ยอยู่ภายใต้สภาวะที่บรรจุปุ๋ยคอกเต็มถังบรรจุเพราะว่าเป็นสภาวะที่ถังบรรจุต้องรับแรงกระทำสูงสุดนั่นเอง โดยผลของการวิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยคอก พบว่า ถังบรรจุปุ๋ยสามารถทำงานภายใต้สภาวะดังกล่าวได้โดยไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใด เพราะว่าแรงที่กระทำกับถังบรรจุปุ๋ยจะลดลงตลอดเวลาที่มีการปล่อยปุ๋ยคอกออกจากเครื่องต้นแบบ

จากนั้นได้วิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยคอก เพื่อหาระยะการเคลื่อนตัวของถังบรรจุปุ๋ยคอก ดังแสดงในรูปที่ 4.6



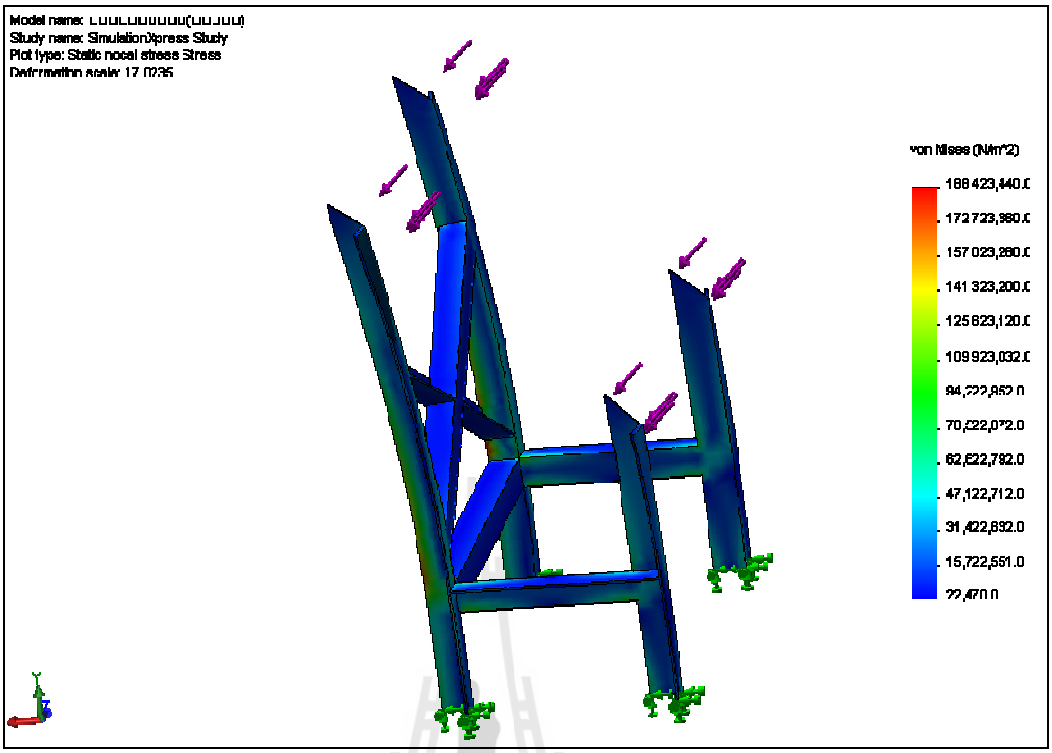
รูปที่ 4.6 แสดงผลของระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นกับถังบรรจุปุ๋ยจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.6 เป็นผลของการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัวของถังบรรจุปุ๋ยคอก พบว่าระยะการเคลื่อนตัวหรือการเสียรูปทรงของถังบรรจุปุ๋ยคอกสูงสุดเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่ง -58.34 มิลลิเมตร, 1,457.84 มิลลิเมตรและ 1,243.15 มิลลิเมตร

โดยที่ระยะการเสียรูปทรงสูงสุดของถังบรรจุปุ๋ยจะอยู่ที่บริเวณปากบนของถังบรรจุปุ๋ย ที่เป็นเช่นนี้เพราะเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด และเมื่อมีการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นจึงได้ทำการพับขอบของถังบรรจุปุ๋ย เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงและลดการเสียรูปทรงของถังบรรจุปุ๋ยในขณะที่มีปุ๋ยบรรจุอยู่เต็มถัง

4.3.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของขาตั้งถังบรรจุของเครื่องต้นแบบ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับขาตั้งเมื่อต้องรองรับถังบรรจุปุ๋ยที่มีปุ๋ยคอกเต็มถังด้วยโปรแกรม ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7

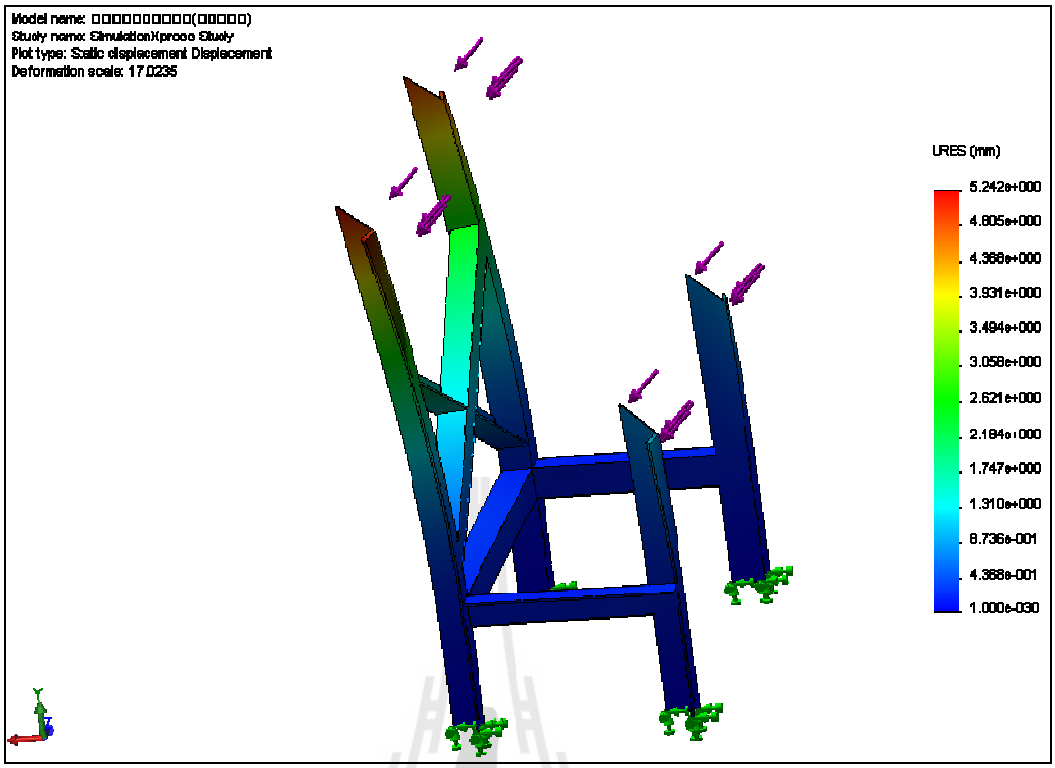


รูปที่ 4.7 แสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นกับขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.7 เป็นผลการวิเคราะห์ความเค้นของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ พบว่า ความเค้นสูงสุดของขาตั้งของถังบรรจุปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 1.88e+008 MN/m^2 ที่ตำแหน่ง 54.22 มิลลิเมตร 241.78 มิลลิเมตร และ709.955 มิลลิเมตร โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2

สาเหตุที่กำหนดให้ขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบอยู่ภายใต้สภาวะที่รับแรงในขณะบรรจุปุ๋ยคอกเต็มถังบรรจุเพราะว่า เป็นสภาวะที่ถังบรรจุต้องรับแรงกระทำสูงสุดนั่นเอง โดยผลของการวิเคราะห์โครงสร้างของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ พบว่า ขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบสามารถทำงานภายใต้สภาวะดังกล่าวได้โดยไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใดเพราะว่าแรงที่กระทำกับขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยจะลดลงตลอดเวลาที่มีการปล่อยปุ๋ยคอกออกจากเครื่องต้นแบบ

จากนั้นได้วิเคราะห์โครงสร้างของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ เพื่อหาระยะการเคลื่อนตัวของถังบรรจุปุ๋ยคอก ดังแสดงในรูปที่ 4.8



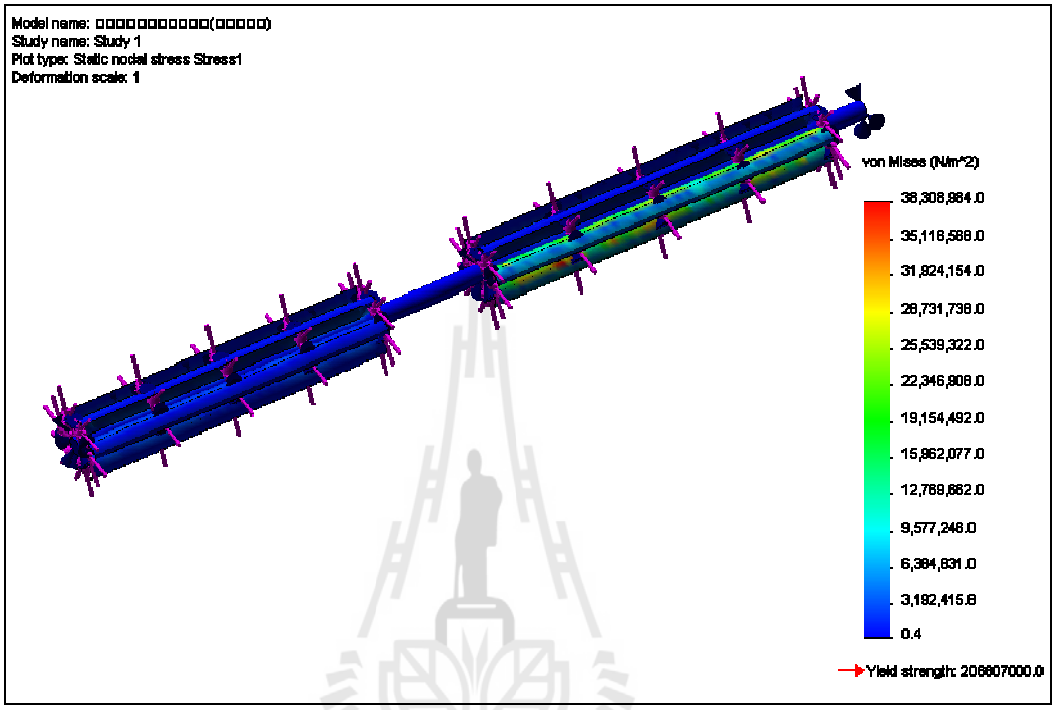
รูปที่ 4.8 แสดงผลของระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นกับขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.8 เป็นผลของการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัวของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ พบว่า ระยะการเคลื่อนตัวหรือการเสียรูปทรงของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบสูงสุดเท่ากับ 5.24 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่ง 138.91 มิลลิเมตร 883.06 มิลลิเมตร และ -8.47 มิลลิเมตร

โดยที่ระยะการเสียรูปทรงสูงสุดของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยจะอยู่ที่บริเวณปลายบนของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ย ที่เป็นเช่นนี้เพราะเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดเนื่องจากในการวิเคราะห์ที่บริเวณดังกล่าวเป็นปลายปล่อยอิสระไม่มีการจับยึด และเมื่อมีการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นจึงได้ทำการจับยึดบริเวณดังกล่าวกับถังบรรจุปุ๋ย เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงและลดการเสียรูปทรงของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยในขณะที่มีปุ๋ยบรรจุอยู่เต็มถัง

4.3.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของใบกวาดของเครื่องต้นแบบ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับใบกวาดเมื่อต้องรับภาระในการกวาดปุ๋ยคอกด้วยโปรแกรม ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.8

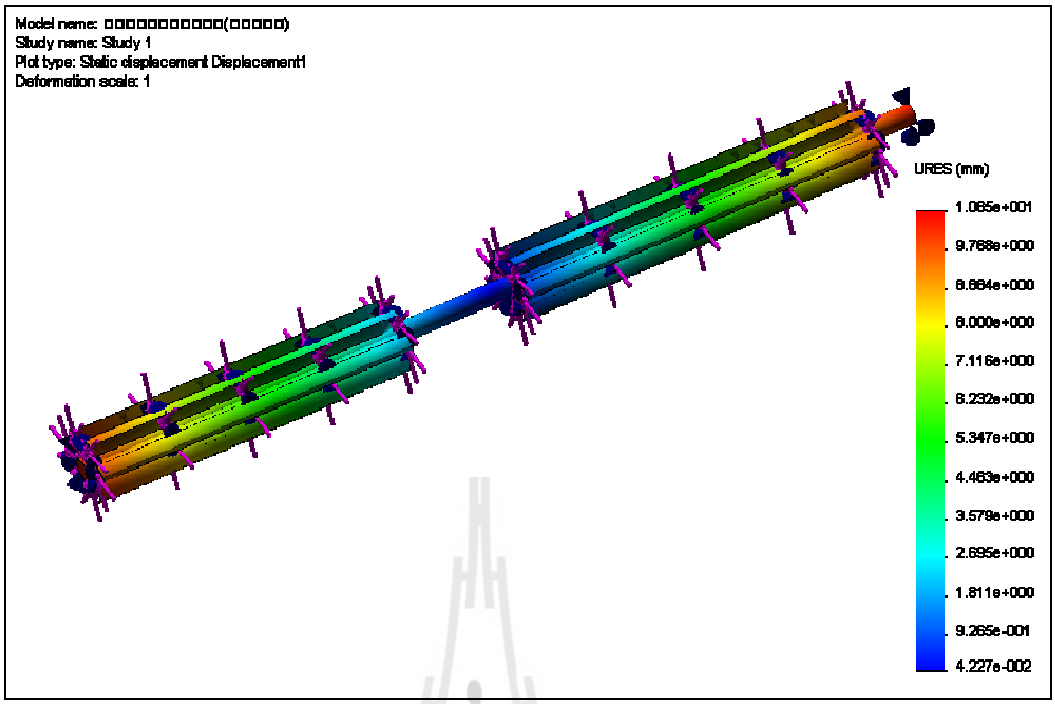


รูปที่ 4.9 แสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นกับใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.9 เป็นผลการวิเคราะห์ความเค้นของใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ พบว่า ความเค้นสูงสุดของใบกวาดปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 3.83e+007 N/m^2 โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1

สาเหตุที่กำหนดให้ใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบอยู่ภายใต้สภาวะที่รับแรงในขณะบรรจุปุ๋ยคอกเพราะว่า เป็นสภาวะที่ถังบรรจุต้องรับแรงกระทำสูงสุดนั่นเอง โดยผลของการวิเคราะห์โครงสร้างของใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ พบว่า ใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบสามารถทำงานภายใต้สภาวะดังกล่าวได้โดยไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใด เพราะว่าแรงที่กระทำกับใบกวาดปุ๋ยจะลดลงตลอดเวลาที่มีการปล่อยปุ๋ยคอกออกจากเครื่องต้นแบบ

จากนั้นได้วิเคราะห์โครงสร้างของใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ เพื่อหาระยะการเคลื่อนตัวของถังบรรจุปุ๋ยคอก ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงผลของระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นกับใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.10 เป็นผลของการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัวของใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบ พบว่า ระยะการเคลื่อนตัวหรือการเสียรูปทรงของใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบสูงสุดเท่ากับ 2.894 มิลลิเมตร

โดยที่ระยะการเสียรูปทรงสูงสุดของใบกวาดปุ๋ยจะอยู่ที่บริเวณปลายบนของใบกวาดปุ๋ย ที่เป็นเช่นนี้เพราะเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดเนื่องจากในการวิเคราะห์ที่บริเวณดังกล่าวเป็นปลายปล่อยอิสระไม่มีการจับยึด

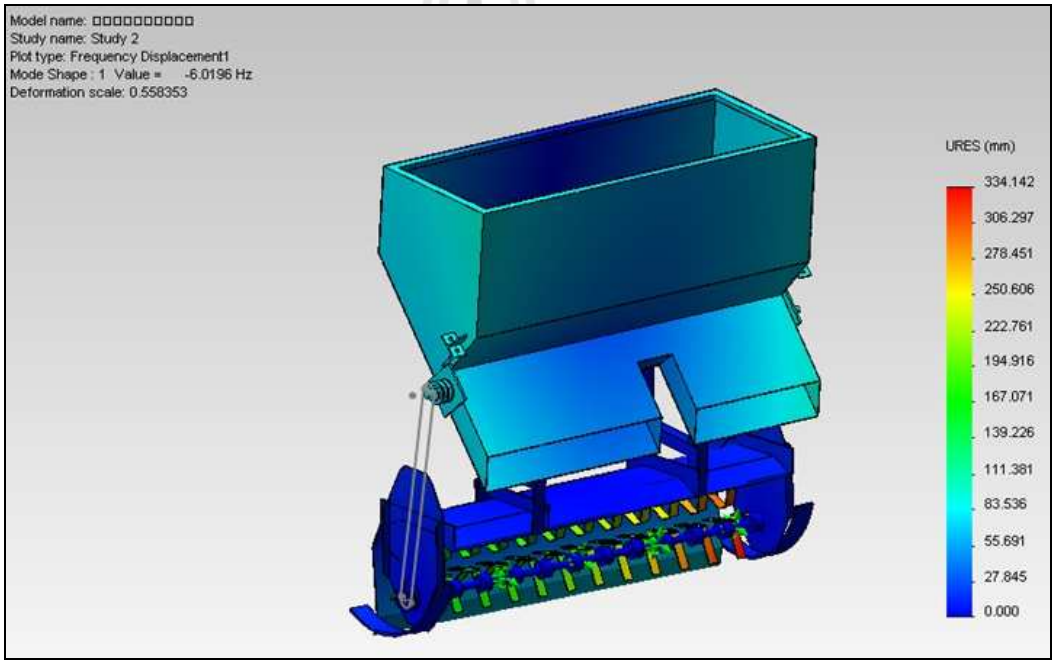
4.3.5 ผลการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติโครงสร้างของเครื่องต้นแบบ

ในการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติโครงสร้างของเครื่องต้นแบบ เพื่อหาความถี่ธรรมชาติที่เกิดขึ้นกับเครื่องต้นแบบเมื่อต้องปฏิบัติงานด้วยโปรแกรม โดยในการวิเคราะห์ผลของความถี่ธรรมชาติได้แบ่งออกเป็น 5 โหมด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.11 4.12 4.13 4.14 4.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงความถี่ธรรมชาติ 5 โหมดแรกที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

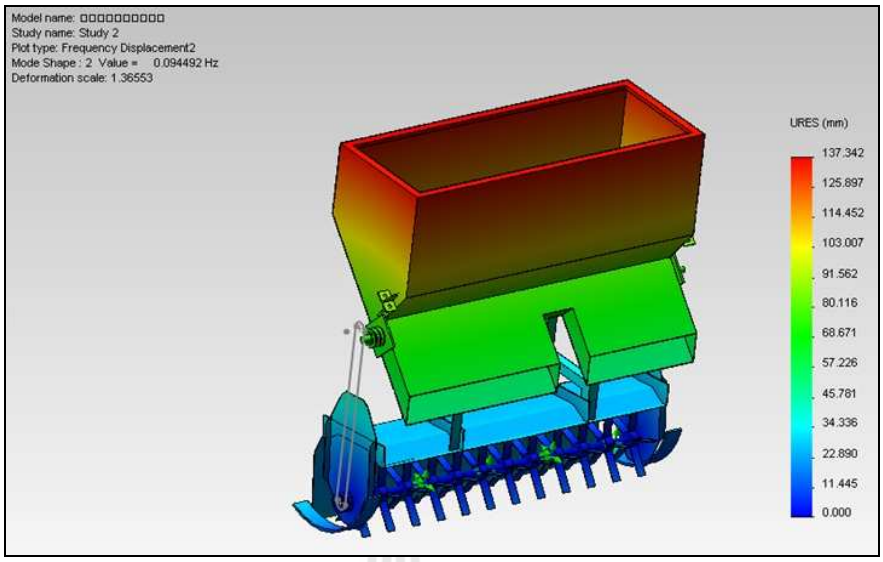
Mode No.	Frequency (Rad/sec)	Frequency (Hertz)	Period (Seconds)
1	-37.822	-6.0196	-0.16613
2	0.59371	0.094492	10.583
3	18.334	2.9179	0.34271
4	30.076	4.7868	0.20891
5	82.359	13.108	0.07629

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 พบว่า ความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการวิเคราะห์ใน 5 โหมดแรก จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการสั่นสะเทือนในแต่ละโหมดนั่นเอง



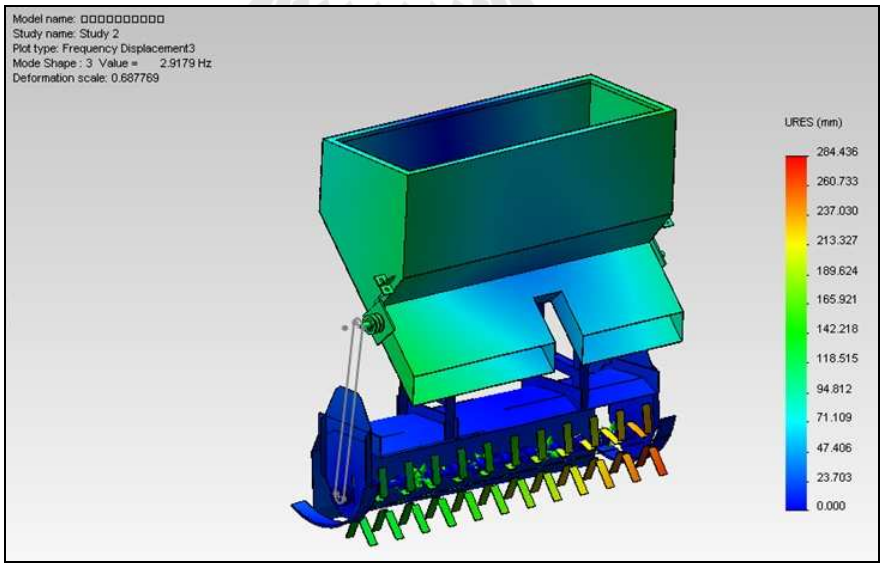
รูปที่ 4.11 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 1 ของเครื่องต้นแบบ
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.11 แสดงถึงตำแหน่งใบมีดของจอบหมุนที่จะเกิดความเสียหายก่อนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนจากการทำงาน โดยที่ในโหมด 1 มีผลของความถี่ธรรมชาติอยู่ที่ -6.019 เฮิร์ต



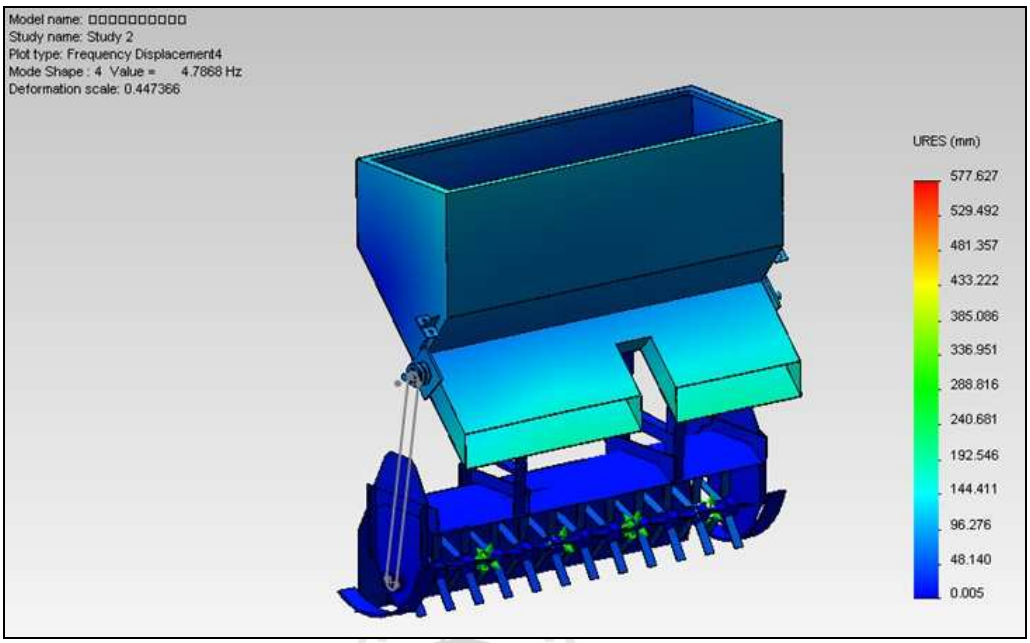
รูปที่ 4.12 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 2 ของ
เครื่องต้นแบบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.12 แสดงถึงตำแหน่งถังบรรจุปุ๋ยส่วนบนที่จะเกิดความเสียหายก่อนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนจากการทำงาน โดยที่ในโหมด 2 มีผลของความถี่ธรรมชาติอยู่ที่ 0.094 เฮิร์ต



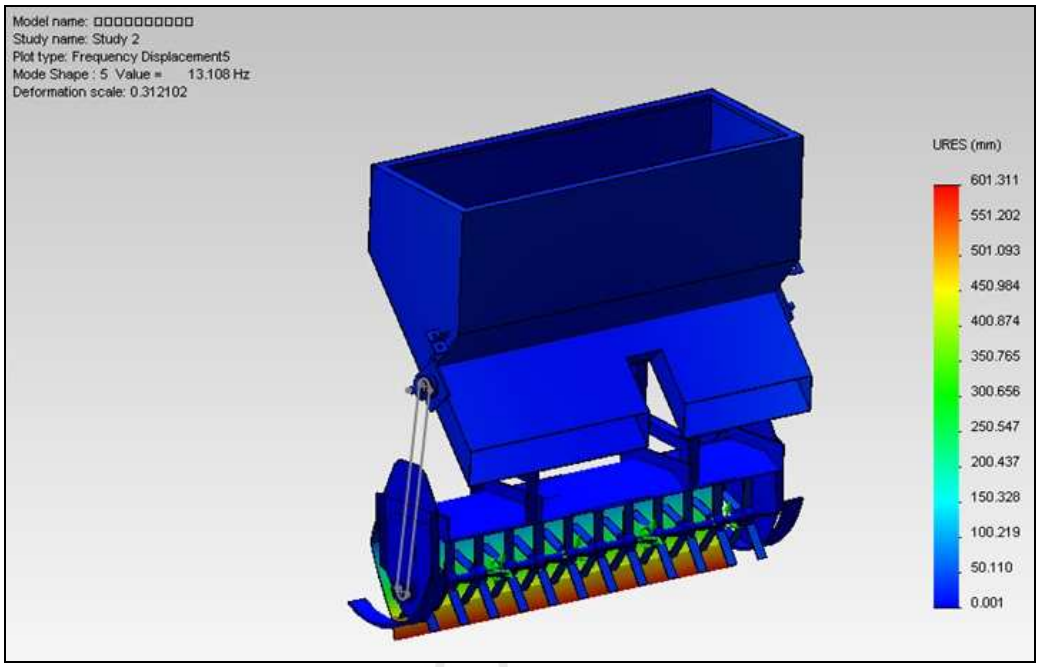
รูปที่ 4.13 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 3 ของ
เครื่องต้นแบบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.13 แสดงถึงตำแหน่งใบมีดของจอบหมุนที่จะเกิดความเสียหายก่อนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนจากการทำงาน โดยที่ในโหมด 3 มีผลของความถี่ธรรมชาติอยู่ที่ 2.917 เฮิร์ต



รูปที่ 4.14 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 4 ของ
เครื่องต้นแบบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.14 แสดงถึงตำแหน่งถังบรรจุปุ๋ยด้านที่เป็นทางออกปุ๋ยที่จะเกิดความเสียหายก่อนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนจากการทำงาน โดยที่ในโหมด 4 มีผลของความถี่ธรรมชาติอยู่ที่ 4.786 เฮิร์ต



รูปที่ 4.15 แสดงผลของความถี่ธรรมชาติในโหมด 5 ของ
เครื่องต้นแบบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 4.15 แสดงถึงตำแหน่งกระโปรงหลังของจอบหมุนที่จะเกิดความเสียหายก่อนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนจากการทำงาน โดยที่ในโหมด 5 มีผลของความถี่ธรรมชาติอยู่ที่ 13.108 เฮิร์ต

ซึ่งจากผลของการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติใน 5 โหมดแรก พบว่า ลักษณะของการสั่นในโหมด 2 มีความใกล้เคียงกับการสั่นสะเทือนในการทำงานจริงของเครื่องต้นแบบ และจากการวัดการสั่นสะเทือนในการทำงานจริงของเครื่องต้นแบบด้วยเครื่องวัดการสั่นสะเทือน พบว่าไม่ได้มีช่วงของการสั่นสะเทือนอยู่ในความถี่เดียวกับที่ได้จากการวิเคราะห์ในโหมด 2 ดังนั้นเครื่องต้นแบบจึงสามารถทำงานได้จริงโดยที่ไม่เกิดความเสียหายจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการทำงาน

4.4 ผลการสร้างเครื่องต้นแบบ

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ในบทที่ 3 แล้วนั้น ได้ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17

รูปที่ 4.16 แสดงเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จและทำการติดตั้งเรียบร้อย

จากรูปที่ 4.16 แสดงถึงส่วนของถังบรรจุปุ๋ยคอกที่ได้ทำการติดตั้งไว้กับจอบหมุนโดยจะมีขาของถังบรรจุปุ๋ย 4 ขา ที่เป็นตัวจับยึดกับฝาบนของจอบหมุนในตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งของแขนของจอบหมุน ทำการจับยึดกันด้วยสกรูจับยึด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการเจาะรูไว้สำหรับแขนจับของจอบหมุนเดิมอยู่แล้วนั่นเอง และมีฝาปิดถังบรรจุปุ๋ยคอกด้วย เพื่อป้องกันปุ๋ยคอกที่อาจลอยไปตามลมในขณะที่รถเคลื่อนที่บนถนน ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายและอุบัติเหตุกับผู้ที่สัญจรไปมาบนถนน และสิ่งปลอมปนที่จะหล่นลงไปในถังบรรจุปุ๋ย ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายกับในกวาดในขณะทำงานได้

รูปที่ 4.17 แสดงเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ

รูปที่ 4.17 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นถึงแขนปรับระดับช่องปล่อยปุ๋ยคอก โดยที่แขนปรับระดับจะติดอยู่ด้านข้างของถังบรรจุปุ๋ยคอก โดยที่แขนปรับระดับจะเปิดขึ้น เมื่อได้รับแรงดันจากฝากระโปรงของจอบหมุน และปิดลงเมื่อฝาไม่ได้รับแรงดันจากกระโปรงของจอบหมุน สำหรับตำแหน่งของการส่งกำลังไปยังเพลาของใบกวาดจะอยู่ที่ปลายเพลาของจอบหมุนด้านขวามือ

4.5 ผลการทดสอบภาคสนามของเครื่องต้นแบบ

ในการทดสอบภาคสนามของเครื่องต้นแบบนั้นประกอบด้วย การทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอก การทดสอบแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ ความสามารถจริงในการทำงานต่อพื้นที่ ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพในการทำงาน เพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะในการทำงานของเครื่องต้นแบบ

4.5.1 การทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

ในการทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกของเครื่องต้นแบบด้วยการให้รถแทรกเตอร์ต้นกำลังวิ่งตรงไปบนพื้นที่ที่เตรียมไว้ด้วยความเร็วคงที่ ยกจอบหมุนขึ้นเหนือพื้นแล้วปล่อยให้เครื่องต้นแบบทำงานดังรูปที่ 4.18

รูปที่ 4.18 แสดงการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

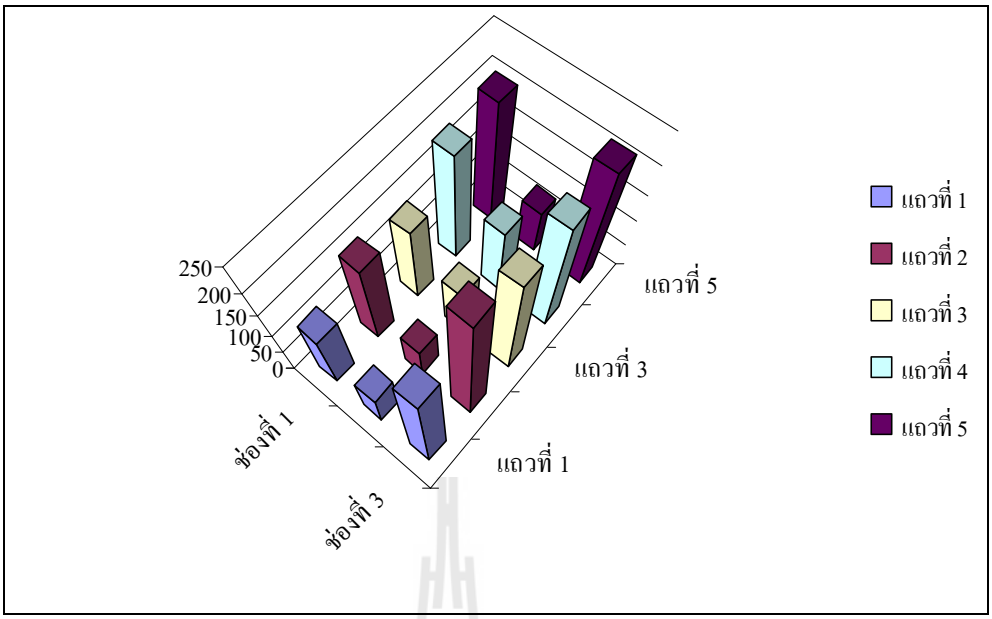
จากรูปที่ 4.18 พบว่า การกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ จะมีการกระจายตัวได้ดีในบริเวณช่องทางออกด้านข้างทั้งสองด้านของถังบรรจุปุ๋ยคอก โดยจะเว้นที่บริเวณตรงกลาง ซึ่งเป็นช่องทางออกที่ปิดไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้ปุ๋ยคอกไหลลงไปที่เพลาอำนวยกำลัง ซึ่งในการทำงานจริง จอบหมุนจะทำหน้าที่ตีผสมและคลุกเคล้าปุ๋ยคอกเข้ากับดิน ดังนั้นลักษณะการกระจายตัวของปุ๋ยคอกแบบนี้ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของปุ๋ยในดินแต่อย่างใด

จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากการทำงานของเครื่องต้นแบบ (กรัม)

แถวที่	ปริมาณปุ๋ยคอก (กรัม)				
	ช่องที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	1	115	110	130	118
	2	20	80	110	70
	3	170	220	230	207
2	1	170	140	180	163
	2	50	70	75	65
	3	250	235	260	248
3	1	110	180	140	143
	2	70	120	90	93
	3	250	220	150	207
4	1	180	220	190	197
	2	90	140	150	127
	3	220	230	190	213
5	1	210	240	180	210
	2	70	90	80	80
	3	190	220	250	220

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 นำไปวาดกราฟเพื่อแสดงผลการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงผลของการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

จากรูปที่ 4.19 พบว่า การกระจายตัวของปุ๋ยคอกที่ได้จากเครื่องต้นแบบนั้นเป็นการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ เพราะการออกแบบให้ถังบรรจุปุ๋ยมีช่องปิดเหนือบริเวณที่เป็นจุดต่อของเพลาอำนวยกำลัง เพื่อป้องกันไม่ให้ปุ๋ยไหลลงในบริเวณดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ปุ๋ยคอกช่วงกลางของถังบรรจุมีการอัดตัวกันแน่นกว่าด้านข้างของถังบรรจุปุ๋ย จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การกระจายตัวของปุ๋ยคอกในช่วงกลางของความยาวของถังบรรจุปุ๋ยน้อยกว่าด้านข้างทั้งสองด้าน

ถึงแม้ว่าเครื่องต้นแบบจะไม่สามารถกระจายปุ๋ยคอกให้สม่ำเสมอได้ แต่จะไม่ส่งผลเสียใดต่อการเตรียมดินทำนาข้าว เพราะปุ๋ยคอกที่ไหลลงมานั้นจะถูกจอบหมุนตีปุ๋ยคอกให้คลุกเคล้ากับดินในแปลงได้โดยทั่วถึงตลอดพื้นที่

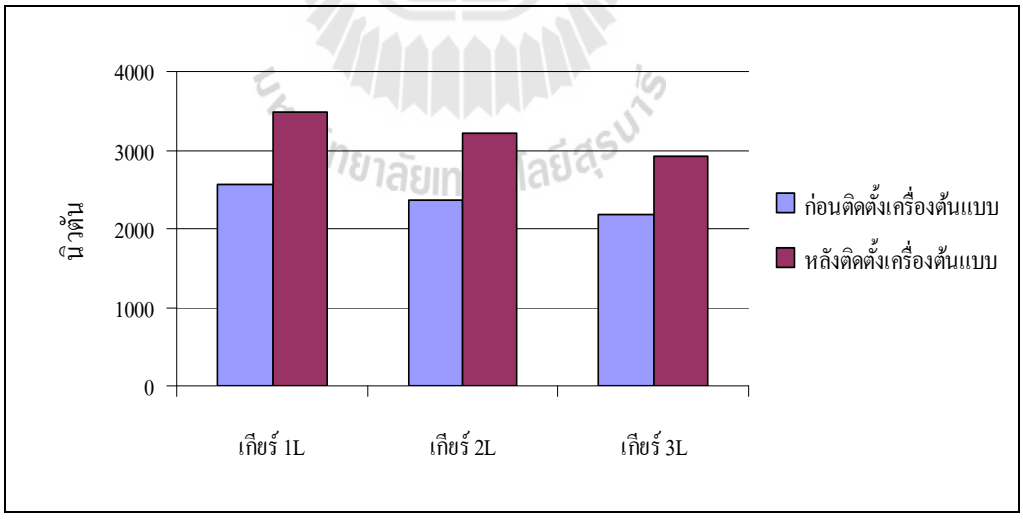
4.5.2 การทดสอบแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ

การทดสอบนี้เพื่อหาแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ต้นกำลัง เมื่อต้องติดตั้งเครื่องต้นแบบกับเมื่อไม่ติดตั้งเครื่องต้นแบบ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการฉุดลากของรถแทรกเตอร์

รายการ	แรงฉุดลาก (นิวตัน)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
การทำงานที่เกียร์ต่าง ๆ ก่อนการติดตั้งเครื่องโรยปุ๋ยฯ				
เกียร์ 1L	2,746.80	2,570.22	2,354.40	2,557.14
เกียร์ 2L	2,390.44	2,507.52	2,197	2,364.98
เกียร์ 3L	2,234.02	2,352.50	1,961	2,182.50
การทำงานที่เกียร์ต่าง ๆ หลังการติดตั้งเครื่องโรยปุ๋ยฯ				
เกียร์ 1L	3,433.50	3,276.54	3,767.04	3,492.36
เกียร์ 2L	3,021.48	3,423.69	3,207.87	3,217.68
เกียร์ 3L	2,923.38	2,876.23	2,944.30	2,914.63

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.5 มาวาดกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลของแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ต้นกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ

จากการทดสอบเพื่อหาค่าแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.20 นั้น พบว่า รถแทรกเตอร์ที่ทำการติดตั้งเครื่องต้นแบบแล้วนั้น จะมีแรงฉุดลากสูงกว่ารถแทรกเตอร์ที่ทำการติดตั้งเฉพาะจอบหมุน โดยที่ค่าของแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบ จะสูงสุดที่การเดินรถที่ระดับเกียร์ 1 ต่ำ คือ 3,492.36 นิวตัน แล้วลดลงที่การเดินรถในระดับเกียร์ 2 ต่ำ คือ 3,217.68 นิวตัน และ 3 ต่ำ คือ 2,914.63 นิวตัน ตามลำดับ และค่าของแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเฉพาะจอบหมุน จะสูงสุดที่การเดินรถที่ระดับเกียร์ 1 ต่ำคือ2,557.14 นิวตัน แล้วลดลงที่การเดินรถในระดับเกียร์ 2 ต่ำ คือ 2,364.98 นิวตัน และ 3 ต่ำคือ2,182.5 นิวตัน ตามลำดับ

โดยที่สามารถเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของแรงฉุดลากเมื่อไม่ทำการติดตั้งเครื่องต้นแบบกับเมื่อทำการติดตั้งเครื่องต้นแบบ พบว่า ที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 1 ต่ำ แรงฉุดลากเพิ่มมากขึ้นเป็น 26.78% ที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 2 ต่ำ มีแรงฉุดลากเพิ่มมากขึ้นเป็น 26.50% และที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 3 ต่ำ แรงฉุดลากเพิ่มมากขึ้นเป็น 25.12% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ต้นกำลังที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบในทุกระดับความเร็วในการเคลื่อนที่มีความแตกต่างกันน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยที่ที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 3 ต่ำ มีค่าน้อยที่สุด เพราะการเคลื่อนที่ที่เกียร์สูงกว่าทำให้รถมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่สูงกว่า จึงสามารถเอาชนะแรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ได้มากกว่า ซึ่งส่งผลให้แรงฉุดลากที่เกิดขึ้นน้อยลง

ทั้งนี้ที่แรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบแล้วมีค่าแรงฉุดลากสูงกว่าในรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเฉพาะจอบหมุน ในทุกระดับความเร็วในการเดินรถ เพราะปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงฉุดลากมี 2 ปัจจัยหลัก คือ หน้ากว้างในการทำงานของเครื่องจักร และน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ต่อพ่วง ในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการเพิ่มหน้ากว้างในการทำงานของอุปกรณ์ต่อพวง แต่เพิ่มอุปกรณ์เสริมไปวางบนจอบหมุน ดังนั้นจึงส่งผลให้อุปกรณ์ต่อพ่วงมีน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับต้นกำลังสูงขึ้น

4.5.3 กำลังที่สูญเสียเนื่องจากการติดตั้งเครื่องต้นแบบ

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ถึงกำลังงานที่เพลาของใบกวาดปุ๋ยของเครื่องต้นแบบต้องใช้เพื่อขับเคลื่อนใบกวาดปุ๋ยในการกวาดปุ๋ยคอกออกจากถังบรรจุ โดยพิจารณาจากความเร็วรอบของเพลาใบกวาดปุ๋ยที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ที่ 232 รอบต่อนาที และโมเมนต์บิดที่ 378.831 นิวตันเมตร ดังนั้นกำลังงานที่เพลาของใบกวาดปุ๋ยต้องใช้ โดยการส่งกำลังมาจากเพลาของใบมีดของจอบหมุน คือ 9.203 กิโลวัตต์

ในขณะที่กำลังของเพลาจอบหมุน ที่ใช้ในการขับเคลื่อนใบมีดของจอบหมุนให้ทำงานนั้น ซึ่งเป็นต้นกำลังของเพลาใบกวาดปุ๋ยคอก พิจารณาที่ความเร็วรอบในการทำงานตามข้อมูลจำเพาะของตัวจอบหมุนตราช้าง RX 180F ที่ 232 รอบต่อนาที เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาจอบหมุน 50 มิลลิเมตร ดังนั้น กำลังที่เพลาของจอบหมุนใช้ในการหมุนทำงานของใบมีดจอบหมุนที่ได้รับการส่งกำลังมาจากเพลาอำนวยกำลัง คือ 26.832 กิโลวัตต์

และจากข้อมูลจำเพาะของรถแทรกเตอร์คูโบต้า L4508 ซึ่งเป็นต้นกำลังของงานวิจัยในครั้งนี้ มีกำลังที่ใช้ในการขับเพลาอำนวยกำลังอยู่ที่ 38.1 กิโลวัตต์ โดยที่มีกำลังขับสุทธิ 43.6 กิโลวัตต์

จากการออกแบบเครื่องต้นแบบของผู้วิจัยที่ต้องการให้เพลาของใบกวาดปุ๋ยทำงานได้ด้วยการอาศัยกำลังขับจากเพลาของจอบหมุนที่ได้รับจากเพลาอำนวยกำลังส่งมาอีกทอดหนึ่งนั้น พบว่า เป็นกำลังงานที่เมื่อรวมกับกำลังงานที่จอบหมุนต้องใช้ในการทำงานจริงแล้วมีค่าเท่ากับ 36.035 กิโลวัตต์ ซึ่งยังไม่เกินกำลังที่รถแทรกเตอร์ขนาดดังกล่าวใช้ในการขับเพลาอำนวยกำลัง อีกทั้งจอบหมุนและรถแทรกเตอร์ต้นกำลังที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มีระบบป้องกันความปลอดภัยสำหรับการทำงานที่เกินกำลังของจอบหมุนและรถแทรกเตอร์อยู่ ด้วยระบบคลัตท์นิรภัยที่จะเป็นตัวทำหน้าที่ตัดการทำงานหากมีภาระงานที่มากเกินกำลังที่จะถ่ายทอดได้ จึงเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่ช่วยป้องกันความปลอดภัยให้กับการทำงานของต้นกำลังของเครื่องต้นแบบ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบไว้นั้นสามารถใช้กับจอบหมุน และรถแทรกเตอร์ขนาดดังกล่าวได้

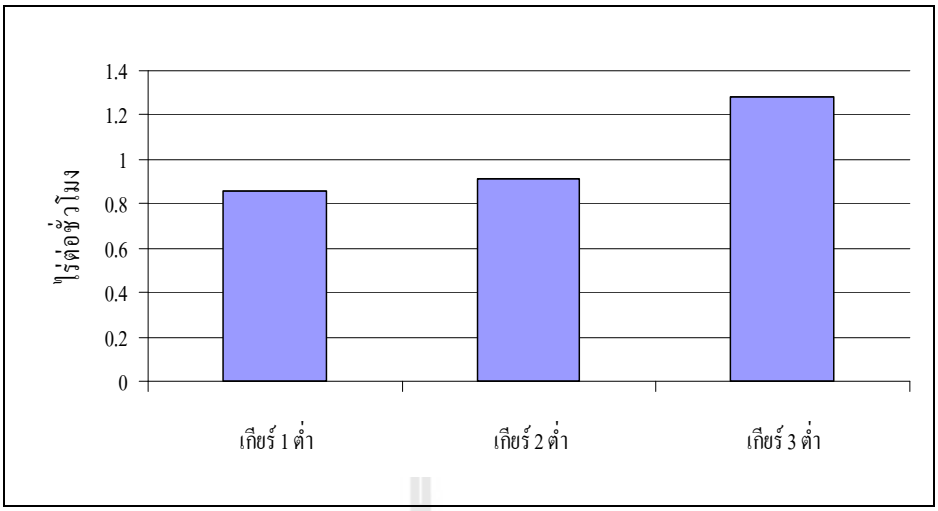
4.5.4 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ

ในหัวข้อนี้เป็นส่วนของผลการทดลองที่เกิดขึ้นกับเครื่องต้นแบบ เพื่อแสดงถึงความสามารถจริงในการทำงาน ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพในการทำงาน ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ

รายการ	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์		
	เกียร์ 1 ต่ำ	เกียร์ 2 ต่ำ	เกียร์ 3 ต่ำ
	(1.15 km/hr)	(1.67 km/hr)	(2.57 km/hr)
พื้นที่ที่ทำการทดสอบ (m^2)	600	600	600
ความกว้างของหัวแปลง (m)	15	15	15
ความสามารถจริงในการทำงาน (rai/hr)	0.86	0.91	1.28
ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก (kg/rai)	906.67	693.33	426.67
ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ (kg/hr)	779.74	630.93	546.14
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (liter/rai)	3.46	3.38	3.2
ประสิทธิภาพในการทำงาน (%)	56	58	80

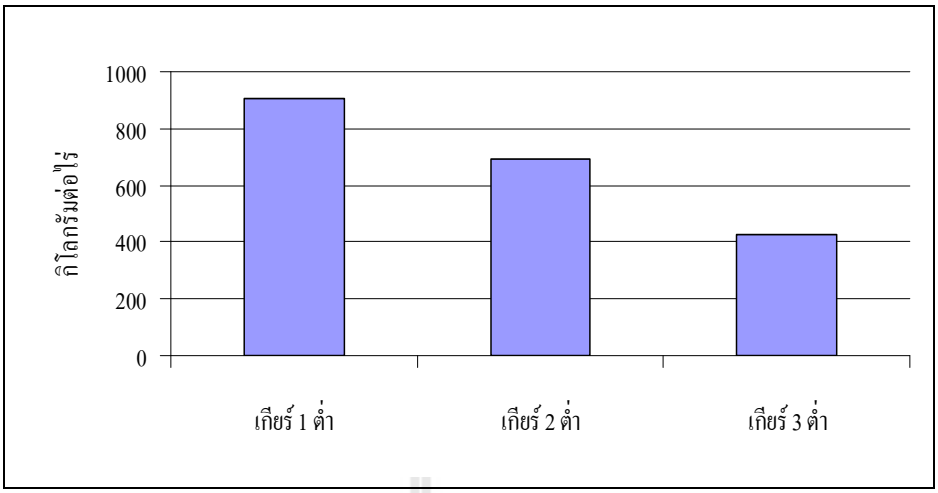
จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 4.6 ไปวาดกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในด้านต่าง ๆ ในแต่ละระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ โดยการแยกให้ รูปที่ 4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถจริงในการทำงานต่อพื้นที่ของเครื่องต้นแบบ รูปที่ 4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกของเครื่องต้นแบบ รูปที่ 4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุของเครื่องต้นแบบ รูปที่ 4.24 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องต้นแบบ และรูปที่ 4.25 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถจริงในการทำงานต่อพื้นที่ของเครื่องต้นแบบ

จากรูปที่ 4.21 พบว่า ที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 3 ต่ำ มีความสามารถจริงในการทำงานสูงสุด คือ 1.28 ไร่ต่อชั่วโมง ตามด้วยที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 2 ต่ำ คือ 0.91 ไร่ต่อชั่วโมง และที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 1 ต่ำ คือ 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง ตามลำดับ

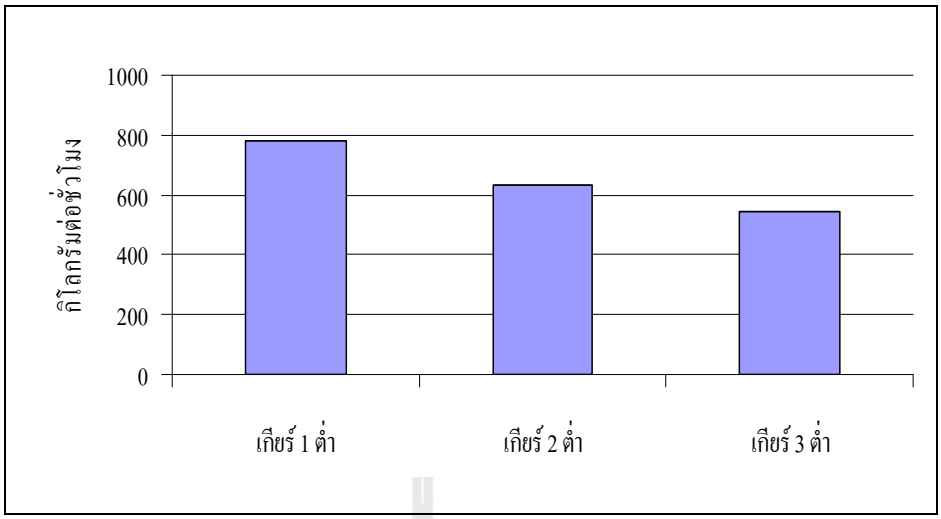
โดยที่ความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ระดับเกียร์ 3 ต่ำ สามารถทำงานจริงได้สูงกว่าที่ระดับเกียร์ 2 ต่ำ และระดับเกียร์ 1 ต่ำ เพราะรถแทรกเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วเนื่องจากแรงฉุดลากที่กระทำกับรถแทรกเตอร์น้อยกว่าที่ระดับเกียร์ทั้งสองระดับ แต่ข้อเสียที่พบสำหรับการเดินรถแทรกเตอร์ที่ระดับเกียร์ 3 ต่ำ คือ ทำให้แปลงนาได้รับปุ๋ยคอกในปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม



รูปที่ 4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกของเครื่องต้นแบบ

จากรูปที่ 4.22 พบว่า ความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ที่ระดับเกียร์ 1 ต่ำ มีความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก สูงกว่าที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ระดับเกียร์ 2 ต่ำ และ 3 ต่ำ ตามลำดับ (906.67 693.33 และ 426.67 กิโลกรัมต่อไร่)

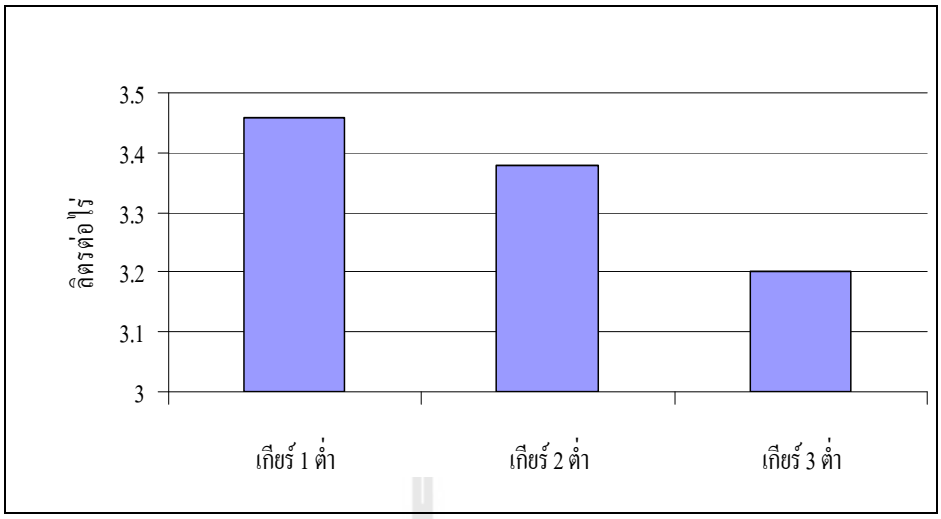
ซึ่งจากปริมาณปุ๋ยคอกที่เหมาะสมในการใส่ต่อพื้นที่ 1 ไร่ คือ 600 กิโลกรัม ดังนั้น ระดับความเร็วในการเดินรถที่เหมาะสมกับการจ่ายปุ๋ยคอกลงบนพื้นที่ คือ เกียร์ 2 ต่ำเพราะสามารถจ่ายปุ๋ยได้ในจำนวน 693.33 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 1 จะได้ปุ๋ยคอกในปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณที่เหมาะสม และที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ที่ระดับเกียร์ 3 จะได้ปุ๋ยคอกในปริมาณที่มากเกินปริมาณที่เหมาะสม จึงเป็นความสิ้นเปลืองที่เกินความจำเป็นนั่งเอง



รูปที่ 4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุของเครื่องต้นแบบ

จากรูปที่ 4.23 พบว่า ที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 1 ต่ำ มีความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุได้สูงกว่าที่เกียร์ 2 ต่ำ และเกียร์ 3 ต่ำ ตามลำดับ (779.74 630.93 และ 546.14 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

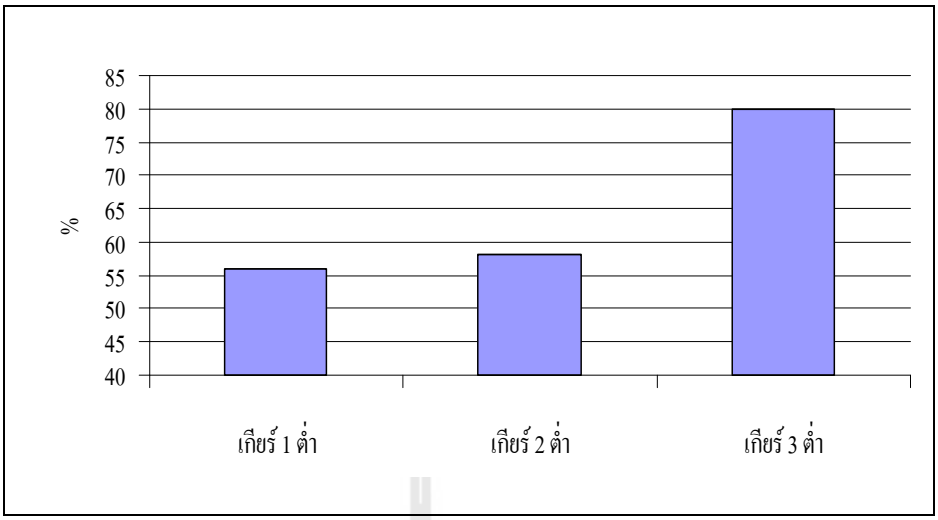
โดยสาเหตุที่ทำให้ที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 1 ต่ำ มีความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุได้สูงกว่าทั้งสองเกียร์ เพราะระดับความเร็วในการเดินรถที่ช้ากว่าในสองระดับเกียร์ แต่ความสามารถในการกวาดปุ๋ยคอกของเครื่องต้นแบบเท่ากันทุกระดับความเร็วเดินรถ จึงส่งผลให้ที่ระดับความเร็วเดินรถแทรกเตอร์ที่ช้ากว่ามีความหนาแน่นของปุ๋ยมากกว่าในระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ที่เร็วกว่านั่นเอง



รูปที่ 4.24 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลือง
น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องต้นแบบ

จากรูปที่ 4.24 พบว่า ที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 1 ต่ำ มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าที่เกียร์ 2 ต่ำ และเกียร์ 3 ต่ำ ตามลำดับ (3.46 3.38 และ 3.2 ลิตรต่อไร่)

สาเหตุที่ระดับความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์เกียร์ 1 ต่ำ มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าเกียร์ 2 ต่ำ และ 3 ต่ำ เพราะในการทำงานที่สภาพพื้นที่เหมือนกัน ขนาดแปลงเท่ากัน แต่ที่เกียร์ 1 ต่ำ ใช้เวลาในการทำงานมากกว่าที่เกียร์ 2 ต่ำ และเกียร์ 3 ต่ำ รวมถึงการเดินรถที่เกียร์ 1 ต่ำ เป็นสภาพที่รถแทรกเตอร์มีแรงฉุดลากมากกว่าที่เกียร์ 2 ต่ำ และเกียร์ 3 ต่ำ ซึ่งเป็นสภาพที่เครื่องยนต์ต้องทำงานหนัก จึงส่งผลถึงอัตราการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงที่มากกว่านั่นเอง



รูปที่ 4.25 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพใน
การทำงานของเครื่องต้นแบบ

จากรูปที่ 4.25 พบว่า ที่ความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ระดับเกียร์ 3 ต่ำ มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าที่ระดับเกียร์ 1 ต่ำ และเกียร์ 2 ต่ำ ตามลำดับ (80% 56% และ 32%) เพราะที่ความเร็วในการเดินรถแทรกเตอร์ระดับเกียร์ 3 ต่ำ ใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าที่ระดับเกียร์ 1 ต่ำ และ 2 ต่ำ

4.5.5 แสดงผลของความหนาแน่นของดินสภาพแห้ง ภายหลังการบดอัด

ในการเปรียบเทียบความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดในงานวิจัยนี้ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงจอบหมุน กับความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงเครื่องต้นแบบเข้ากับจอบหมุน โดยที่ทั้งสองกรณีอยู่ภายในสภาพพื้นที่เดียวกัน เมื่อทำการหาค่าความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัด พบว่า ความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงจอบหมุนมีค่าเท่ากับ 0.517 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงเครื่องต้นแบบเข้ากับจอบหมุนมีค่าเท่ากับ 0.472 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

โดยสาเหตุที่ทำให้ความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงเครื่องต้นแบบเข้ากับจอบหมุนมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงจอบหมุน เพราะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ น้ำหนักของรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง และจำนวนของเที่ยววิ่งของรถที่ผ่านพื้นที่

ทำงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ พบว่า เมื่อยังไม่ทำการต่อพ่วงเครื่องต้นแบบ น้ำหนักที่มีผลความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบดอัดดินของล้อยางจะมีเพียงน้ำหนักของรถแทรกเตอร์กับจอบหมุนเท่านั้นจำนวนเที่ยววิ่งในการเดินรถผ่านพื้นที่ทำงานก็จะเป็น 2 เที่ยว จากการใส่ปุ๋ยคอกหนึ่งเที่ยวและจากการไถแปรอีกหนึ่งเที่ยว ถ้าทำการต่อพ่วงกับเครื่องต้นแบบแล้วนั้น น้ำหนักที่มีผลต่อความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบดอัดดินของล้อยางจะเพิ่มน้ำหนักของเครื่องต้นแบบเข้าไปด้วยจำนวนเที่ยววิ่งในการเดินรถผ่านพื้นที่ทำงานลดลงเป็น 1 เที่ยว เนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยมากจึงไม่ส่งผลต่อความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบดอัดดินของล้อยาง แต่จำนวนของเที่ยววิ่งในการเดินรถผ่านพื้นที่ทำงานที่ลดลงหนึ่งเท่าจึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงเครื่องต้นแบบเข้ากับจอบหมุนลดลงนั่นเอง

4.6 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์อันประกอบไปด้วย

4.6.1 การกำหนดราคาขายต่อหน่วยของเครื่องต้นแบบ

คำนวณจากราคารวมของค่าวัสดุ อุปกรณ์สิ้นเปลือง และค่าแรงงานในการประกอบเครื่อง ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้สามารถขายได้ในราคาเริ่มต้นที่ 19,800 บาท

4.6.2 การหาปริมาณพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องต้นแบบต่อปี

การคำนวณในหัวข้อนี้จะเป็นการประมาณการถึงจำนวนพื้นที่ที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมในการทำงานสำหรับเกษตรกรที่นำเครื่องไปใช้งานจริง โดยการคำนวณสามารถคำนวณได้จาก 3 ส่วนคือ (1) ค่าใช้จ่ายคงที่ของเครื่องต่อปี ซึ่งประกอบด้วยค่าเสื่อมราคาของเครื่อง และค่าดอกเบี้ย (2) ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้หลังการทำงานด้วยเครื่องต้นแบบต่อไร่ และ (3) ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อไร่ของการทำงานของเครื่อง ซึ่งค่าใช้จ่ายผันแปรจะประกอบไปด้วย ค่าแรงงานคน ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่น และค่าซ่อมบำรุง จากข้อมูลข้างต้นเมื่อนำมาคำนวณหาพื้นที่ที่เหมาะสม พบว่าเครื่องต้นแบบนี้มีพื้นที่ที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมกับการทำงานอยู่ที่ 47 ไร่ต่อปี

4.6.3 การหาจุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ

การหาระยะเวลาในการคืนทุนนี้จะเกี่ยวข้องกับราคาแรกซื้อของเครื่องต้นแบบ และกำไรสุทธิเฉลี่ยที่ได้จากการใช้เครื่องต้นแบบในการทำงาน ซึ่งจากการคำนวณพบว่า เกษตรกรที่ใช้เครื่องต้นแบบทำงานแทนแรงงานคนในพื้นที่ 47 ไร่ต่อปี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลการวิจัยโดยสรุปและข้อเสนอแนะในการดำเนินการวิจัยต่อไป โดยกล่าวถึงผลสรุปของการวิจัยในหัวข้อ 5.1 และกล่าวถึงข้อเสนอแนะในการดำเนินการทำวิจัยต่อไปเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้เครื่องมีความสามารถในการทำงานสูงขึ้นในหัวข้อ 5.2

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงบนจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว โดยมีแนวคิดมาจากความต้องการช่วยลดแรงงานในการใส่ปุ๋ยคอก ลดค่าใช้จ่าย และลดการอัดแน่นของดินในขั้นตอนของการเตรียมดินปลูกข้าวของเกษตรกร

โดยผู้วิจัยได้มีการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงบนจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการออกแบบและคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องที่เหมาะสมกับต้นกำลัง จากนั้นได้มีการสร้างชุดจำลองเครื่องเพื่อทดสอบใบกวาดปุ๋ยคอกที่เหมาะสมสำหรับการนำไปสร้างเครื่องต้นแบบ โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงบนจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว พบว่า ลักษณะโดยทั่วไปของปุ๋ยคอก เป็นเส้นเล็ก สั้นคล้ายเส้นใยของหญ้า และเป็นฝุ่นผง 70% ของปุ๋ยคอกสามารถผ่านตะแกรงที่มีขนาดของช่องเปิดของตะแกรงเท่ากับ 2 มิลลิเมตรได้ ส่วน 30% ของปุ๋ยคอกที่ไม่สามารถผ่านได้เพราะเป็นปุ๋ยคอกที่ยังคงมีการจับตัวกันเป็นก้อน และเมื่อนำปุ๋ยคอกไปทดสอบกับใบกวาดปุ๋ยในชุดจำลอง พบว่า ใบกวาดชนิดรูปทรงตัวซีแบบ 6 ใบกวาดเหมาะสมกับการนำไปใช้กับเครื่องต้นแบบ และจากการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ พบว่า เครื่องต้นแบบนี้มีความเหมาะสมในการทำงานที่ความเร็วในการเดินรถเกียร์ 2 ต่ำ (1.67 km/hr) คือ มีความสามารถจริงในการทำงาน 0.91 ไร่ต่อชั่วโมง ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก 693.33 กิโลกรัมต่อไร่ ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ 630.93 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3.38 ลิตรต่อไร่ มีประสิทธิภาพในการทำงาน 58% ซึ่งอาจมิใช่ความเหมาะสมที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากสามารถจ่ายปุ๋ยคอกได้ในปริมาณเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงดินในแปลงนา ความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงจอบหมุนมี ค่าเท่ากับ 0.517 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

และความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงเครื่องต้นแบบเข้ากับจอบหมุนมีค่าเท่ากับ 0.472 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ น้ำหนักของรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง และจำนวนของเที่ยววิ่งของรถที่ผ่านพื้นที่ทำงาน กำลังที่เพลาของใบกวาดปุ๋ยคอกเมื่อรวมกับเพลาของใบมีดจอบหมุนแล้วยังมีค่าต่ำกว่ากำลังงานจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ต้นกำลัง และเกษตรกรต้องใช้เครื่องนี้ทำงานปีละอย่างน้อย 47 ไร่ จึงจะคุ้มค่ากับการลงทุน

และเมื่อทำการวิจัยแล้วเสร็จ พบว่า งานวิจัยมีผลที่สอดคล้องตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ในบทที่ 1 ดังนี้คือ

5.1.1 จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ของการทำงานวิจัย เพื่อลดจำนวนแรงงานและขั้นตอนในการเตรียมดินปลูกข้าวนั้น พบว่า เครื่องต้นแบบเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงบนจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว สามารถลดแรงงานในขั้นตอนของการไถเตรียมดินในนาข้าวได้จริง คือ จากเดิมที่เกษตรกรต้องใช้แรงงานคนอย่างน้อย 2 คน ในการขนย้ายและใส่ปุ๋ยคอกลงในนาข้าว และอีก 1 คน ในการขับรถแทรกเตอร์เพื่อทำการไถเตรียมดิน แต่เมื่อนำเครื่องต้นแบบไปใช้งานเกษตรกรสามารถทำงานได้ด้วยคนแรงงานคนเพียงหนึ่งคนเพื่อขนย้ายปุ๋ยคอกใส่ในถังบรรจุปุ๋ยแล้วจึงขับรถแทรกเตอร์ไปในแปลงนาเพื่อทำการใส่ปุ๋ยคอกและไถเตรียมดินให้แล้วเสร็จได้

5.1.2 จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ของการทำงานวิจัย เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกสำหรับการเตรียมดินปลูกข้าวนั้น พบว่า การออกแบบเครื่องต้นแบบนั้นเป็นการออกแบบที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ทั้งรูปทรงและขั้นตอนการทำงาน เพื่อต้องการให้ง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษาของเกษตรกรผู้ใช้งานจริง

5.1.3 จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ของการทำงานวิจัย เพื่อทดสอบเครื่องโรยปุ๋ยคอกสำหรับการเตรียมดินปลูกข้าว คือ เมื่อทำการสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวแล้วเสร็จ จึงได้ทำการทดสอบในแปลงทดสอบและพื้นที่ปฏิบัติงานจริง พบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ทั้งในแปลงทดสอบและพื้นที่ปฏิบัติงานจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบในการทำวิจัย คือ ปัญหาของการควบคุมการจ่ายปุ๋ยคอก ซึ่งปัญหานี้ได้ส่งผลต่อการทำงานของเครื่อง ซึ่งมีความสำคัญต่อปริมาณปุ๋ยต่อพื้นที่ การแก้ปัญหาดังกล่าวของเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวต้นแบบ นี้สามารถทำได้โดย

5.2.1 ต้องมีการออกแบบเพิ่มเติมในส่วนของระบบปิดเปิด ช่องจ่ายปุ๋ย ที่ต้องสามารถปรับขนาดช่องปิดเปิด ได้แม่นยำมากขึ้น

5.2.2 เพิ่มใบตีกระจายปุ๋ยเพื่อลดการอัดตัวของปุ๋ยคอกก่อนถึงใบกวาดปุ๋ยคอก และสัญญาณแจ้งเตือนปริมาณปุ๋ยก่อนหมดในถังบรรจุ

รายการอ้างอิง

กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). **การปลูกและการดูแลรักษาและการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าว**[ออนไลน์]. ได้จาก : http://www.brrd.in.th/rkb/data_004/rice_xx2-04_manage_index.html

กรมการค้าต่างประเทศ. (2554). **การส่งออกข้าว**. [ออนไลน์]. ได้จาก : www.dft.moc.go.th

จักร์กฤช ตั้งรัตนโสภณ สุพิชญ์ ไตรภพภูมิ และ วรพจน์ วิศรุตนาถ. (2544). **การออกแบบระบบส่งกำลังและช่วงล่างของเครื่องหว่านปุ๋ยคอก.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต.ปทุมธานี.

จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์. (2542). **เครื่องจักรกลเกษตรเพื่อการเตรียมดิน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

จำลอง กกรัมย์. (2538). **ปุ๋ยอินทรีย์ : วารสารดินและปุ๋ย**. ปีที่ 68 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2538. กรุงเทพฯ.

ชญานิน อารมณ์รัตน์ ประพัฒน์ ผิวพลอยงาม และ วรุตม์ เมฆมาสิน. (2544). **การทดสอบการกระจายปุ๋ยคอกโดยใช้แบบจำลองเครื่องหว่านปุ๋ยคอก**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. ปทุมธานี.

ทวี คุปต์กาญจนากุล. (2541). การเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยวิธีการเขตกรรม. **วารสารวิชาการ เกษตร**. ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2541.หน้า 144 - 151.

ธงชัย มาลา. (2546). **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จริโมภาส. (2545). **สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร ภาค 1: ทฤษฎี**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. (2538). **สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพฯ .

พันทิภา อินทรวิชัย. (2535). **เครื่องทุ่นแรงฟาร์มภาค 2**. ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร. ปทุมธานี .

พงค์เทพ อินตะริกานนนท์. (2543). เสวนาเรื่องทิศทางการวิจัยและการใช้ปุ๋ยในอนาคต. **วารสารเคหะการเกษตร**. หน้า 152-156.

มงคล กวางวโรภาส. (2544). **การศึกษาออกแบบสร้างและทดสอบอุปกรณ์เตรียมดินเพื่อทำเทือกนาชนิดพ่วงติดรถไถชนิดนั่งขับ**. สถาบันวิจัยและพัฒนา : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2554). **รู้เรื่องข้าว**. [ออนไลน์]. ได้จาก : www.thairice.org

ยงยุทธ โอสถสภา. (2527). **หลักการใช้ปุ๋ยข้าว**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์. (2545). **การจัดการเครื่องต้นกำลังและเครื่องจักรกลเกษตร**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. ปทุมธานี.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. (2541). การออกแบบเครื่องจักรกล. ซีเอ็ดยูเคชั่น. กรุงเทพฯ.

วินิต ชินสุวรรณ. (2530). **เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการเบื้องต้น**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ศรีพงศ์ ตั้งรัตนโสภณ. (2544). **การออกแบบกระบะ ชุดโซ่ลำเลียง และใบพัดของเครื่องหว่านปุ๋ยคอก**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

ศูนย์เมล็ดพันธ์ข้าวชลบุรี. (2554). **การใส่ปุ๋ยและปรับปรุงดิน**. [ออนไลน์]. ได้จาก : http://cbr-rsc. cbr rsc@ricethailand.go.th/his.htm

สมชาย ปกรโณดม. (2522). **เครื่องจักรกลเกษตร : หลักการเบื้องต้น**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์รุ่งเกียรติ. ขอนแก่น.

สมชาย องค์ประเสริฐ .(2531). **เอกสารคำสอนวิชาปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาดินและปุ๋ย คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. เชียงใหม่. หน้า 121 - 170.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2554). **ผลผลิตข้าว**. [ออนไลน์]. ได้จาก : www.thairiceexporters.or.th

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. (2553). **การเพาะปลูกข้าว**.[ออนไลน์]. ได้จาก : www.ricethailand.go.th/info_riceknowledge.htm.

อนุตร จำลองกุล. (2551). **ทฤษฎีของระบบดิน - เครื่องจักรกล**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

Gill, W. R. and Vanden Berg, G. E. (1968). Soil Dynamics in Tillage and Traction. U. S. Government Printing Office. Washington, D. C.,

Gordon, S. (1969). **Farm Machine Design Engineering**. Paper.

Mc kyes, E. (1985). **Soil Cutting and Tillage**. Elsevier Science Publishing Company Inc., New York.

Mc Kyes, E. (1989). **Agricultural Engineering Soil Mechanics**. Elsevier Science Publishing Company Inc., New York.

Khurmi, R.S. and Gupta, J.K. (2005). **A Textbook of Machine Design**. S. Chand Publisher. 13th Edition.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก. 1 ผลการวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วงของเครื่องต้นแบบ

Output coordinate System: -- default --

Mass = 30295.62 grams

Volume = 30295618.48 cubic millimeters

Surface area = 19655073.09 millimeters^2

Center of mass: (millimeters)
X = 130.80
Y = -68.59
Z = -542.87

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams * square millimeters)
Taken at the center of mass.
Ix = (-0.04, 0.04, 1.00) Px = 10139208333.85
Iy = (-0.01, -1.00, 0.04) Py = 11561615318.26
Iz = (1.00, -0.01, 0.04) Pz = 19546780362.12

Moments of inertia: (grams * square millimeters)
Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.
Lxx = 19527998253.23 Lxy = 39957533.00 Lxz = -417336123.32
Lyx = 39957533.00 Lyy = 11559513937.96 Lyz = 59332656.52
Lzx = -417336123.32 Lzy = 59332656.52 Lzz = 10160091823.03

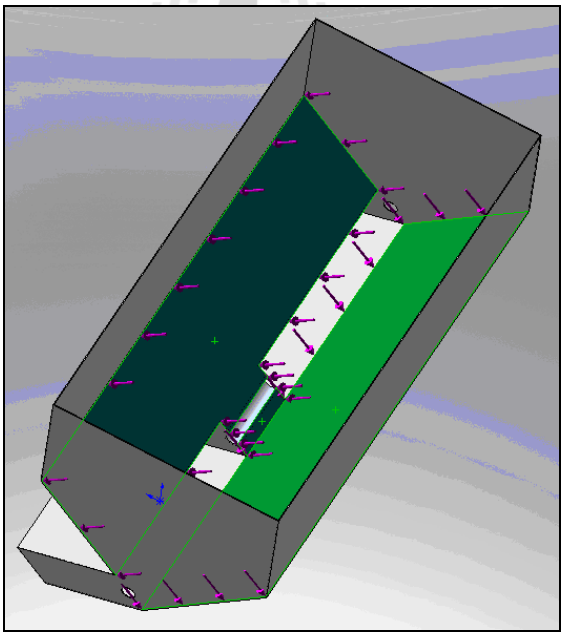
Moments of inertia: (grams * square millimeters)
Taken at the output coordinate system.
Ixx = 28598875017.57 Ixy = -231839626.99 Ixz = -2568601501.36
Iyx = -231839626.99 Iyy = 21006213487.61 Iyz = 1187367463.15
Izx = -2568601501.36 Izy = 1187367463.15 Izz = 10820953041.94

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยด้วยโปรแกรม CosmosXpress

Mesh Information	
Mesh Type:	Solid mesh
Mesher Used :	Standard
Automatic Transition :	Off
Smooth Surface :	On
Jacobian Check :	4 Points
Element Size :	26.17 mm
Tolerance :	1.3085 mm
Quality :	High
Number of elements :	52344
Number of nodes :	105616

ตารางที่ ก.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทำถังบรรจุปุ๋ยคอก

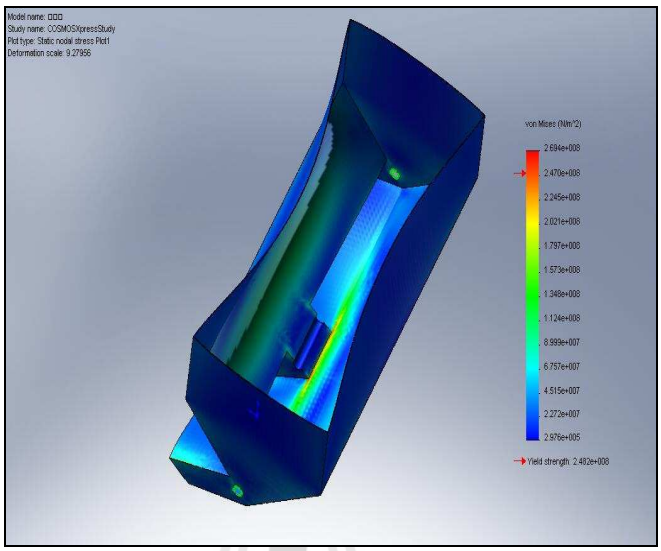
Property Name	Value	Units
Elastic modulus	2.00E+11	N/m^2
Poisson's ratio	0.32	NA
Shear modulus	7.60E+10	N/m^2
Mass density	7800	kg/m^3
Tensile strength	4.83E+08	N/m^2
Yield strength	2.48E+08	N/m^2
Thermal expansion coefficient	1.20E-05	/Kelvin
Thermal conductivity	30	W/(m.K)
Specific heat	500	J/(kg.K)



รูปที่ ก.1 แสดงตำแหน่งของแรงที่กระทำต่อถังบรรจุปุ๋ยคอก

ก. 2 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดกับถังบรรจุปุ๋ยคอก

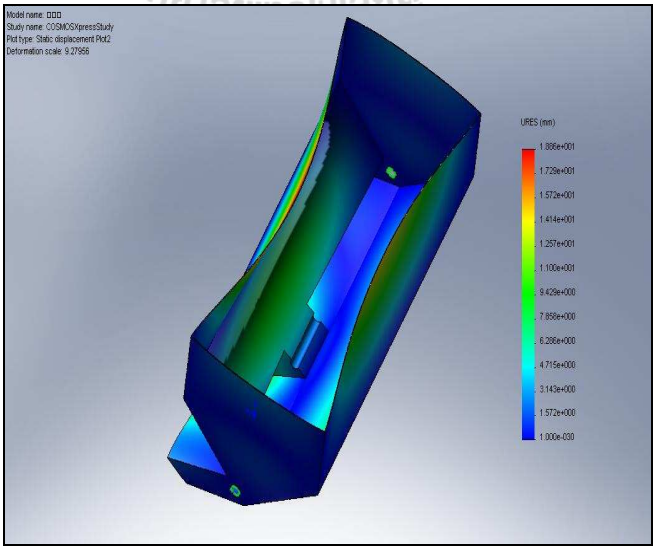
พบว่ามีค่า Min Stress = 297568 N/m^2 Max Stress = 2.69389e+008 N/m^2



รูปที่ ก.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้น

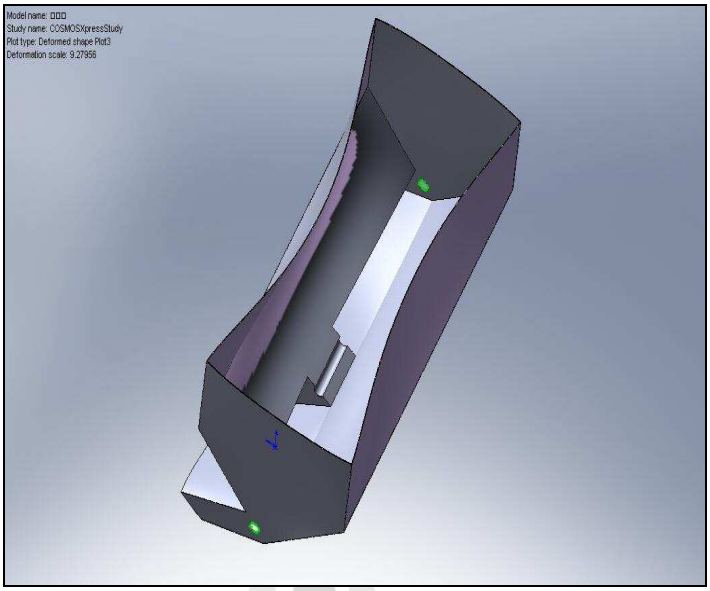
ก. 3 ผลการวิเคราะห์ Displacement ที่เกิดกับถังบรรจุปุ๋ยคอก

พบว่ามีค่า Max Displacement = 18.8587 mm



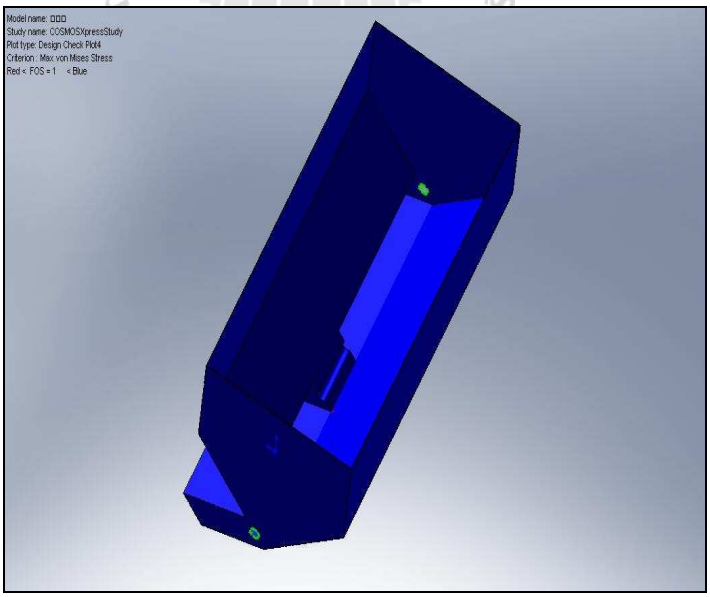
รูปที่ ก.3 แสดงผลการวิเคราะห์ Displacement

ก. 4 ผลการวิเคราะห์ Deformation ที่เกิดกับถังบรรจุปุ๋ยคอก



รูปที่ ก.4 แสดงผลการวิเคราะห์ Deformation

ก. 5 ผลการวิเคราะห์ Design Check ที่เกิดกับถังบรรจุปุ๋ยคอก



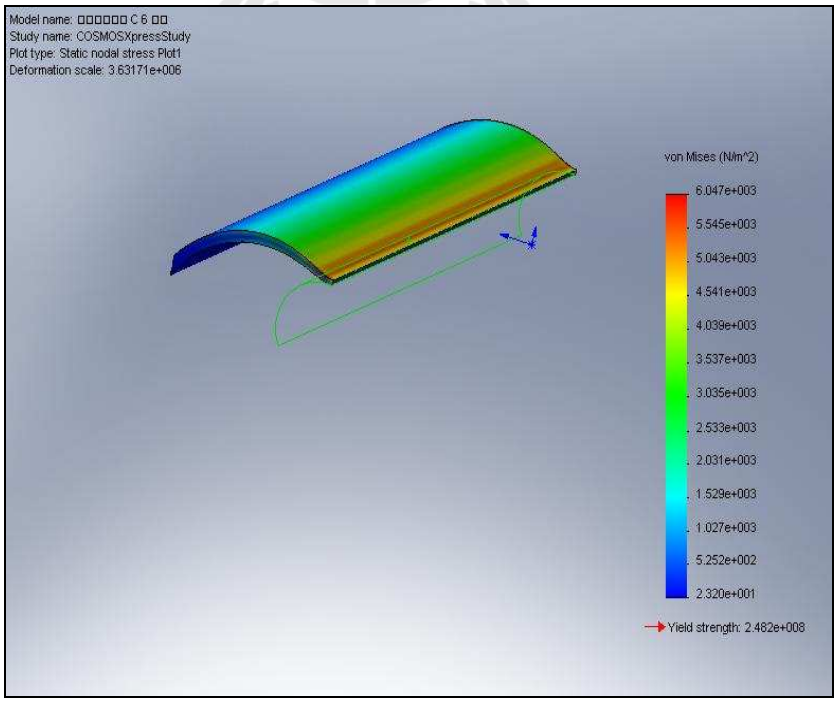
รูปที่ ก.5 แสดงผลการวิเคราะห์ Design Check

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของใบกวาดปุ๋ยด้วยโปรแกรม CosmosXpress

Mesh Information	
Mesh Type	Solid mesh
Mesher Used	Standard
Automatic Transition	Off
Smooth Surface	On
Jacobian Check	4 Points
Element Size	5.3451 mm
Tolerance	0.26726 mm
Quality	High
Number of elements	10731
Number of nodes	22404

ก. 6 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดกับใบกวาดปุ๋ยคอก

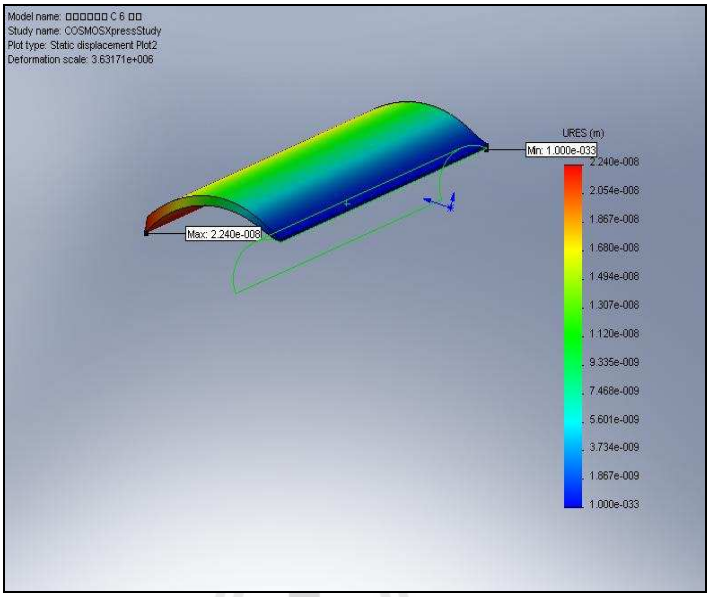
พบว่ามีค่า Min Stress = 6.047e+003 N/m^2 Max Stress = 2.32e+001 N/m^2



รูปที่ ก.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นของใบกวาดปุ๋ยคอก

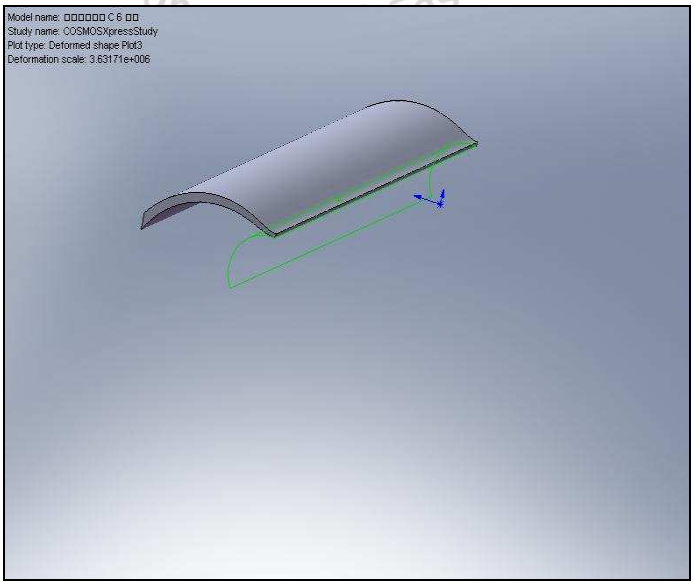
ก. 6 ผลการวิเคราะห์ Displacement ที่เกิดกับใบกวาดปุ๋ยคอก

พบว่ามีค่า Max Displacement = 22.04 mm



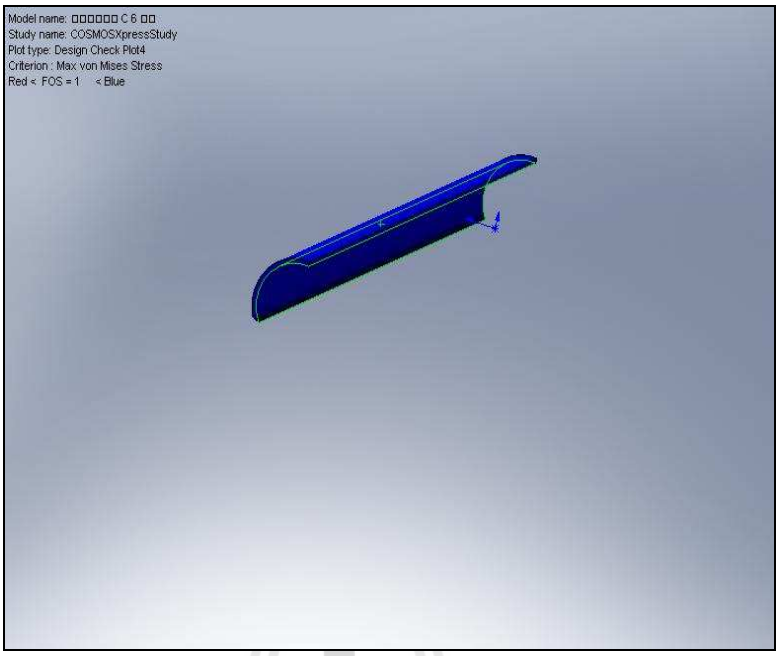
รูปที่ ก.7 แสดงผลการวิเคราะห์ Displacement ของใบกวาดปุ๋ยคอก

ก. 7 ผลการวิเคราะห์ Deformation ที่เกิดกับใบกวาดปุ๋ยคอก



รูปที่ ก.8 แสดงผลการวิเคราะห์ Deformation ของใบกวาดปุ๋ยคอก

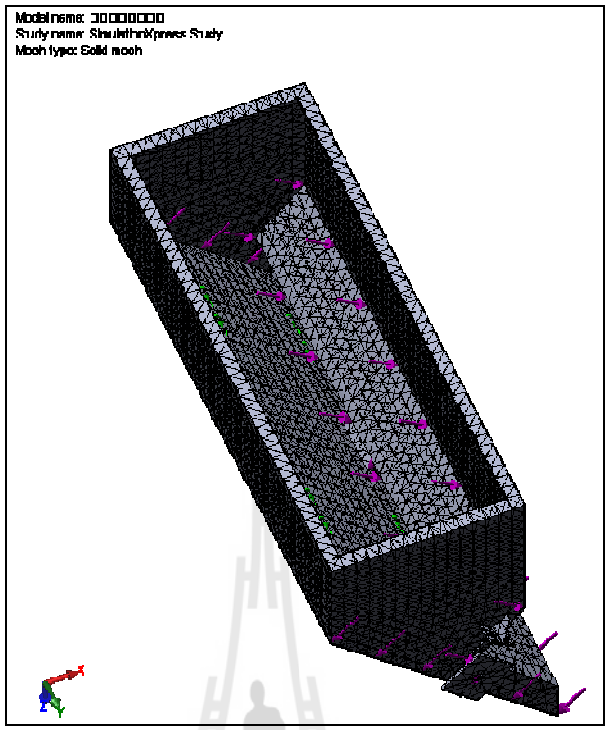
ก. 8 ผลการวิเคราะห์ Design Check ที่เกิดกับใบกวาดปุ๋ยคอก



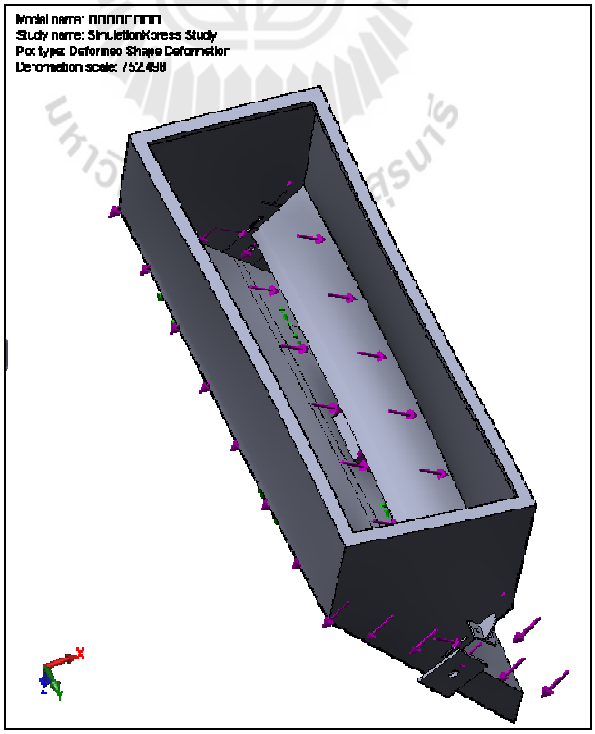
รูปที่ ก.9 แสดงผลการวิเคราะห์ Design Check ของใบกวาดปุ๋ยคอก

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยด้วยโปรแกรม CosmosXpress

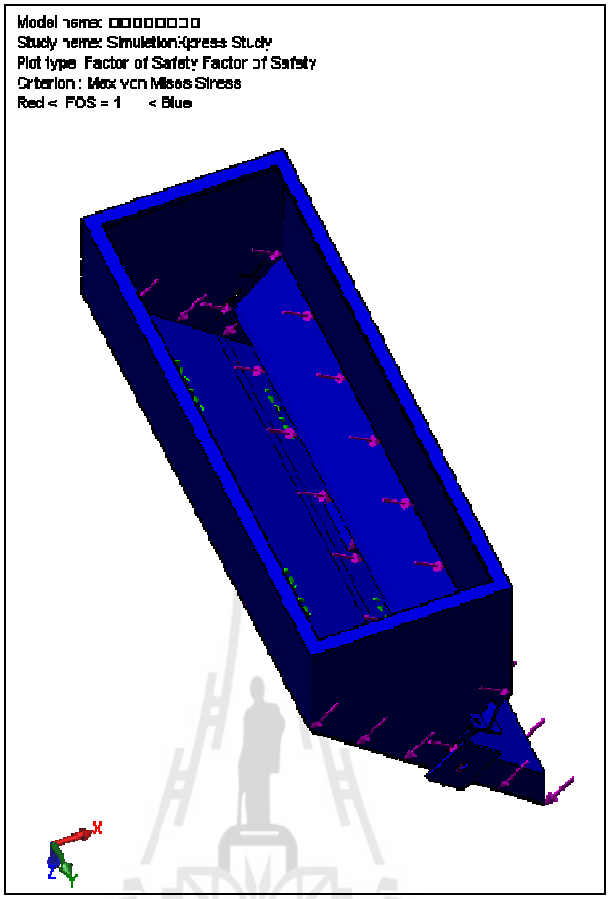
Mesh Information	
Mesh Type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Smooth Surface	On
Jacobian Check	4 Points
Element Size	39.82 mm
Tolerance	1.991 mm
Quality	High
Number of elements	21098
Number of nodes	42911



รูปที่ ก.10 แสดงการแบ่ง Mesh ของถังบรรจุและแรงที่กระทำต่อถังบรรจุ



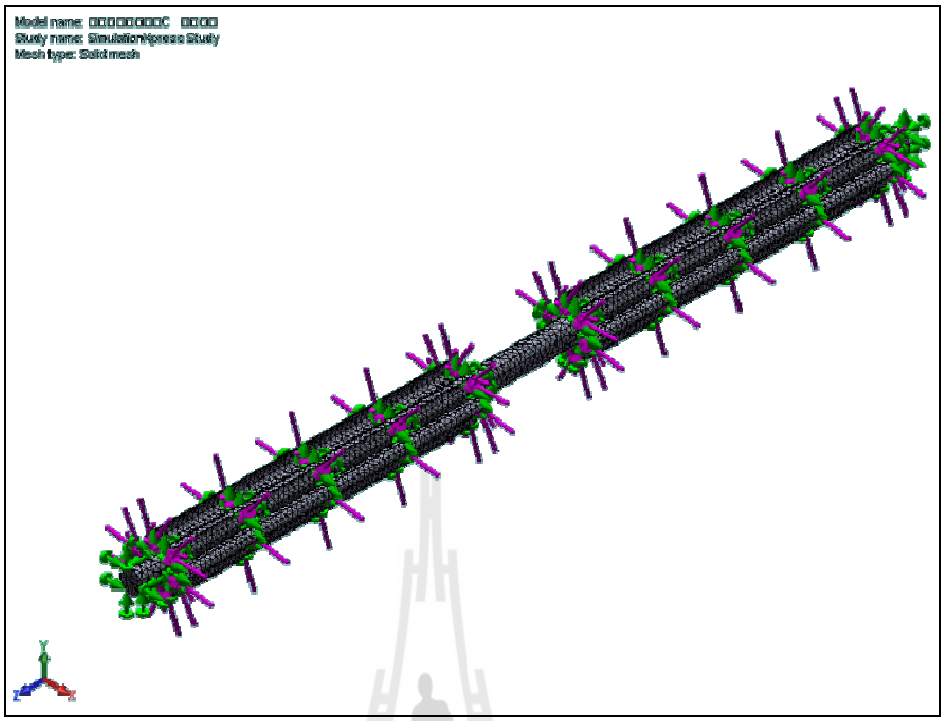
รูปที่ ก.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของถังบรรจุภายหลังได้รับแรงกระทำ



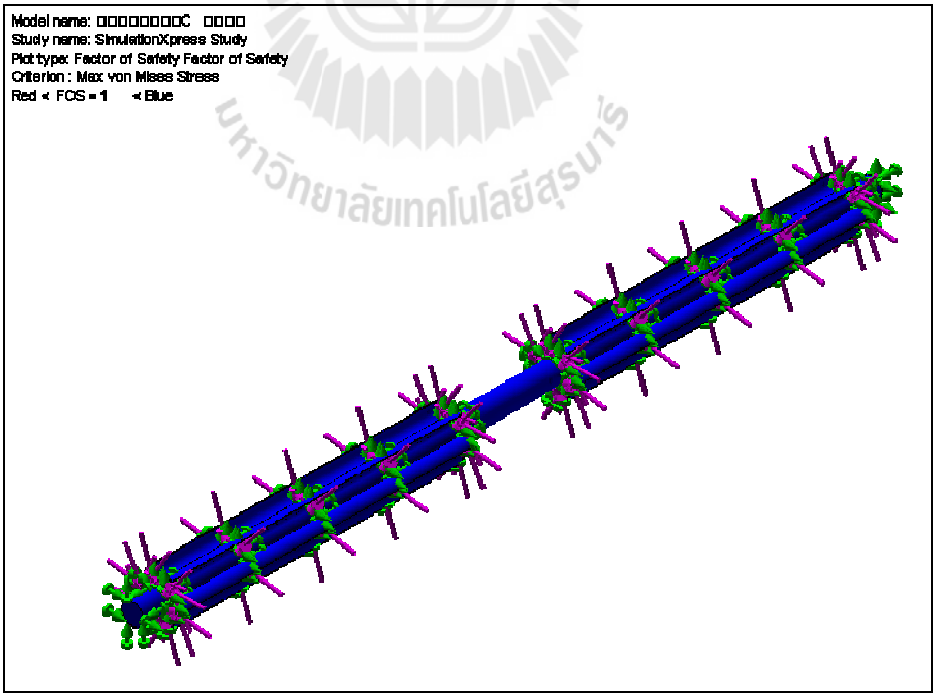
รูปที่ ก.12 แสดงถึงความปลอดภัยของการออกแบบจากการคำนวณ

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลในการคำนวณโครงสร้างของใบกวาดปุ๋ยด้วยโปรแกรม CosmosXpress

Mesh Information	
Mesh Type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Smooth Surface	On
Jacobian Check	4 Points
Element Size	9.4035 mm
Tolerance	0.47017 mm
Quality	High
Number of elements	35572
Number of nodes	64564



รูปที่ ก.13 แสดงการแบ่ง Mesh ของใบกวาดปุ๋ยและแรงที่กระทำต่อใบกวาดปุ๋ย



รูปที่ ก.14 แสดงถึงความปลอดภัยของการออกแบบจากการคำนวณ

ภาคผนวก ข

รูปประกอบการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ข.1 แสดงตะแกรงแยกขนาดปุ๋ยคอก

รูปที่ ข.2 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่ไม่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.10

รูปที่ ข.3 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.10

รูปที่ ข.4 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.

รูปที่ ข.5 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.35

รูปที่ ข.6 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.60

รูปที่ ข.7 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน No.140

รูปที่ ข.8 แสดงเครื่องมือทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของปุ๋ยคอก

รูปที่ ข.9 แสดงการบรรจุปุ๋ยคอกลองในชุดทดสอบ

รูปที่ ข.10 แสดงการทดสอบความสามารถของใบกวาดปุ๋ยในชุดทดสอบ

รูปที่ ข.11 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.12 แสดงการแบ่งพื้นที่การกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.13 แสดงสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยคอกจากการทดสอบกระจายตัว
ของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.14 แสดงการชั่งน้ำหนักปุ๋ยคอกที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง
การกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.15 แสดงด้านข้างของเครื่องต้นแบบที่ติดตั้งเรียบร้อย

รูปที่ ข.16 แสดงตัวบังคับการเปิด – ปิด ช่องจ่ายปุ๋ยในเครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.17 แสดงการ์ดครอบสายพานส่งกำลังในเครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.18 แสดงเทปุ๋ยคอกลงในถังบรรจุปุ๋ยที่เครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.19 แสดงลักษณะการไหลของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

รูปที่ ข.20 แสดงลักษณะการไหลของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.21 แสดงการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.22 แสดงการปรับแต่งเครื่องในระหว่างการทดสอบในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.23 แสดงการวัดขนาดพื้นที่ในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.24 แสดงการวัดพื้นที่ในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.25 แสดงการทดสอบการขุดลากในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.26 แสดงลักษณะของดินก่อนการทำงานของเครื่องในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.27 แสดงลักษณะของดินหลังการทำงานของเครื่องในแปลงทดสอบ

รูปที่ ข.28 แสดงลักษณะของดินก่อน – หลังการทำงานของเครื่องในแปลงทดสอบ

ภาคผนวก ค

การคำนวณเกี่ยวกับผลการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากแปลงทดสอบ

ระดับเกียร์	ครั้งที่ทดลอง	เวลาในการวิ่งทั้งหมด (นาที)	เวลาในการเลี้ยวหัวแปลง (นาที)	เวลาในการปรับแต่งเครื่อง (นาที)	จำนวนปุ๋ยที่ใช้ (ถุง)	น้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสีย (ลิตร)
เกียร์ 1 ต่ำ	1	27.41	11.12	0.56	19	3.5
	2	24.39	10.04	1.39	15	3.66
	3	26.35	9.37	1.04	16	3.23
	เฉลี่ย	**26.05**	**10.18**	**1**	**17**	**3.46**
เกียร์ 2 ต่ำ	1	23.45	7.43	2.45	12	3.49
	2	25.32	7.1	1.57	14	3.28
	3	25.01	7.23	2.16	14	3.37
	เฉลี่ย	**24.59**	**7.25**	**2.06**	**13**	**3.38**
เกียร์ 3 ต่ำ	1	18.09	5.01	2.31	10	3.11
	2	17.35	3.51	2.15	7	3
	3	17.23	4.3	2.44	6	3.5
	เฉลี่ย	**17.56**	**4.27**	**2.3**	**8**	**3.2**

1. ความสามารถจริงในการทำงาน (Effective field capacity, C_a), (ไร่ต่อชั่วโมง)

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

เมื่อ C_a = ความสามารถจริงในการทำงาน (ไร่ต่อชั่วโมง)

A = พื้นที่ในการทำงาน (ไร่)

T_t = เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด (ชั่วโมง)

1.1 ที่เกียร์ 1 ต่ำ

เมื่อ A = 600 ตารางเมตร T_t = 26.05 นาที

แทนค่า $$C_a = \frac{600m^2 \times \frac{1rai}{1{,}600m^2}}{26.05\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}} = 0.86$$ ไร่ ต่อ ชั่วโมง

1.2 ที่เกียร์ 2 ต่ำ

เมื่อ A = 600 ตารางเมตร T_t = 24.59 นาที

แทนค่า $$C_a = \frac{600m^2 \times \frac{1rai}{1{,}600m^2}}{24.59\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}} = 0.91$$ ไร่ ต่อ ชั่วโมง

1.3 ที่เกียร์ 3 ต่ำ

เมื่อ A = 600 ตารางเมตร T_t = 17.56 นาที

แทนค่า $$C_a = \frac{600m^2 \times \frac{1rai}{1{,}600m^2}}{17.56\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}} = 1.28$$ ไร่ ต่อ ชั่วโมง

2. ประสิทธิภาพในการทำงาน (%)

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

เมื่อ E_f = ประสิทธิภาพในการทำงาน (%)

T_e = เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง (ชั่วโมง)

T_t = เวลาที่เครื่องจักรใช้ในการปฏิบัติงานทั้งหมด รวมทั้งเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการเลี้ยว การหยุด และการปรับตั้งเครื่องจักร (ชั่วโมง)

2.1 ที่เกียร์ 1 ต่ำ

เมื่อ T_e = 14.57 นาที T_t = 26.05 นาที

แทนค่า $$E_f = \frac{14.57\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}}{26.05\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}} \times 100 = 56.04\% \approx 56\%$$

2.2 ที่เกียร์ 2 ต่ำ

เมื่อ T_e = 14.32 นาที T_t = 24.59 นาที

แทนค่า $$E_f = \frac{14.32\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}}{24.59\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}} \times 100 = 57.51\% \approx 58\%$$

2.3 ที่เกียร์ 3 ต่ำ

เมื่อ T_e = 12.09 นาที T_t = 17.56 นาที

แทนค่า $$E_f = \frac{12.09\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}}{17.56\,\text{min} \times \frac{1hr}{60\,\text{min}}} \times 100 = 80.24\% \approx 80\%$$

3. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตรต่อไร่)

= ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด(ลิตร) / พื้นที่ในการทำงานจริง(ไร่)

3.1 ที่เกียร์ 1 ต่ำ

เมื่อ ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด = 1.3 ลิตร

พื้นที่ในการทำงานจริง = 600 ตารางเมตร

แทนค่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

$$= \frac{1.3litre}{600m^2 \times \frac{1rai}{1600m^2}} = 3.46 \text{ ลิตร ต่อ ไร่}$$

3.2 ที่เกียร์ 2 ต่ำ

เมื่อ ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด = 1.4 ลิตร

แทนค่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

$$= \frac{1.27 litre}{600 m^2 \times \frac{1 rai}{1600 m^2}} = 3.38 \text{ ลิตร ต่อ ไร่}$$

3.3 ที่เกียร์ 3 ต่ำ

เมื่อ ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด = 1.2 ลิตร

แทนค่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

$$= \frac{1.2 litre}{600 m^2 \times \frac{1 rai}{1600 m^2}} = 3.2 \text{ ลิตร ต่อ ไร่}$$

4. ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่ (กิโลกรัมต่อไร่)

= ปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบ(กิโลกรัม) / พื้นที่ในการทำงานจริง (ไร่)

4.1 ที่เกียร์ 1 ต่ำ

เมื่อ ใช้ปุ๋ย = 17 ถุง (ปุ๋ยคอก 1 ถุง = 20 กิโลกรัม)

พื้นที่ในการทำงานจริง = 600 ตารางเมตร

แทนค่า ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่

$$= \frac{17 \times 20 kg}{600 m^2 \times \frac{1 rai}{1600 m^2}} = 906.67 \text{ กิโลกรัม ต่อ ไร่}$$

4.2 ที่เกียร์ 2 ต่ำ

เมื่อ ใช้ปุ๋ย = 13 ถุง (ปุ๋ยคอก 1 ถุง = 20 กิโลกรัม)

แทนค่า ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่

$$= \frac{13 \times 20kg}{600m^2 \times \frac{1rai}{1600m^2}} = 693.33 \text{ กิโลกรัม ต่อ ไร่}$$

4.3 ที่เกียร์ 3 ต่ำ

เมื่อ ใช้ปุ๋ย = 8 ถุง (ปุ๋ยคอก 1 ถุง = 20 กิโลกรัม)

แทนค่า ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่

$$= \frac{8 \times 20kg}{600m^2 \times \frac{1rai}{1600m^2}} = 426.67 \text{ กิโลกรัม ต่อ ไร่}$$

5. ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

= ความสามารถจริงในการทำงาน × ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่

5.1 ที่เกียร์ 1 ต่ำ

เมื่อ ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่ = 906.67 กิโลกรัมต่อไร่

ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่ = 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง

แทนค่า ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ

$$= 906.67\frac{kg}{rai} \times 0.86\frac{rai}{hr} = 779.736\frac{kg}{hr}$$

5.2 ที่เกียร์ 2 ต่ำ

เมื่อ ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่ = 693.33 กิโลกรัมต่อไร่

ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่ = 0.91 ไร่ต่อชั่วโมง

แทนค่า ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ

$$= 693.33\frac{kg}{rai} \times 0.91\frac{rai}{hr} = 630.93\frac{kg}{hr}$$

5.3 ที่เกียร์ 3 ต่ำ

เมื่อ ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกต่อพื้นที่ = 426.67 กิโลกรัมต่อไร่

ความสามารถจริงในการทำงานเชิงพื้นที่ = 1.28 ไร่ต่อชั่วโมง

แทนค่า ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ

$$= 426.67\frac{kg}{rai} \times 1.28\frac{rai}{hr} = 546.137\frac{kg}{hr}$$

6. ความหนาแน่นของดินสภาพแห้ง ภายหลังการบดอัด

$$\gamma_d = \gamma_0 + A_1 \log\left\{\frac{Np}{p_0}(1+S\%)\right\} + B_1 \log(W\%)$$

6.1 กรณีที่ยังไม่ติดตั้งเครื่องต้นแบบ

เมื่อ $N = 2$

$$P_{(\text{ก่อนติดตั้ง})} = \frac{\text{นน.รถแทรกเตอร์} + \text{นน.จอบหมุน}}{\text{พื้นที่ที่ล้อรถสัมผัสกับดิน}}$$

$$= \frac{(1{,}370 + 345) \times 9.81}{(0.036 \times 2) + (0.109 \times 2)}$$

$$= 58.014\frac{kN}{m^2} = 58.014kPa$$

แทนค่า

$$\gamma_d = 0.8 + 0.17 \log\left\{\frac{(2 \times 58.014)}{7}(1+15\%)\right\} + 0.5\log(10\%) = 0.517\frac{t}{m^3}$$

6.2 กรณีที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบ

เมื่อ $N = 1$

$$P_{(\text{หลังติดตั้ง})} = \frac{\text{นน.รถแทรกเตอร์} + \text{นน.จอบหมุน} + \text{นน.เครื่องต้นแบบ}}{\text{พื้นที่ที่ล้อรถสัมผัสกับดิน}}$$

$$= \frac{(1{,}370 + 345 + 145) \times 9.81}{(0.036 \times 2) + (0.109 \times 2)}$$

$$= 62.919 \frac{kN}{m^2} = 62.919 kPa$$

แทนค่า

$$\gamma_d = 0.8 + 0.17 \log\left\{\frac{(1 \times 62.919)}{7}(1 + 15\%)\right\} + 0.5 \log(10\%) = 0.472 \frac{t}{m^3}$$

โดยที่พื้นที่ที่ล้อสัมผัสกับดิน, A = BL และ $L = \frac{d}{4}$

ดังนั้น ล้อหน้า = $18 \times \frac{80}{4} = 360 cm^2$

$$= 360 cm^2 \times \frac{1 m^2}{(100 cm)^2} = 0.036 m^2$$

ล้อหลัง = $35 \times \frac{125}{4} = 1093.75 cm^2$

$$= 1093.75 cm^2 \times \frac{1 m^2}{(100 cm)^2} = 0.109 m^2$$

7. ประมาณการปริมาณปุ๋ยคอกเบื้องต้น

กรณีใบกวาดปุ๋ยชนิดตัวซีแบบ 4 ใบกวาด

ถ้าเวลาในการเตรียมดินด้วยจอบหมุน 1 ไร่ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง

การกวาดปุ๋ยคอก 6 กิโลกรัม ใช้เวลา 13.09 วินาที

ปริมาณปุ๋ยคอกที่เหมาะสมคือ 600 กิโลกรัมต่อไร่

ดังนั้น $\frac{1 rai}{3{,}600 s} \times 13.09 s = 3.636 \times 10^{-3} rai$

และ $\frac{3.636\times10^{-3}rai}{6kg}\times600kg=0.363rai$

เพราะฉะนั้น $\frac{600kg}{0.363rai}\times1rai=1{,}652kg$

กรณีใบกวาดปุ๋ยชนิดตัวซีแบบ 6 ใบกวาด

การกวาดปุ๋ยคอก 6 กิโลกรัม ใช้เวลา 15.23 วินาที

ดังนั้น $\frac{1rai}{3{,}600s}\times15.23s=4.23\times10^{-3}rai$

และ $\frac{4.23\times10^{-3}rai}{6kg}\times600kg=0.423rai$

เพราะฉะนั้น $\frac{600kg}{0.423rai}\times1rai=1{,}418kg$

8. กำลังที่เพลาของใบกวาดปุ๋ยต้องใช้ในการทำงาน

$$W_p=2\pi nT$$

เมื่อ W_p = กำลังขับ

n = ความเร็วรอบของเพลาใบกวาดปุ๋ย

T = โมเมนต์บิด

แทนค่า $W_p=2\pi\left(\frac{232}{60}\right)378.831=9.203kW$

9. กำลังที่เพลาของจอบหมุนต้องใช้ในการทำงาน

$$W_p=2\pi\left(\frac{232}{60}\right)\left(\frac{45\times\pi\times50^3}{16}\right)=26.832kW$$

10. แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = \frac{W_p}{ZV}$$

เมื่อ W_p = 9.203 kW

Z = 2

$V = 2\pi dn$

$= 2\pi\left(5in \times \frac{25.4mm}{1in} \times \frac{1m}{1000mm}\right) \times \left(\frac{232}{60}\right)$

= 3.085 m/s

เพราะฉะนั้น F $= \frac{9.203 \times 10^3}{2 \times 3.085}$

= 1491.572 N

11. การคำนวณกลไกกำหนดปริมาณปุ๋ยคอก

11.1 ความเร็ววิกฤตของเพลา จากสมการ

$$n_c = 945\left[\frac{W_1 y}{W_1 y^2}\right]^{1/2}$$

เมื่อ n_c = ความเร็ววิกฤตของเพลา, (rpm)

W_1 = F

= แรงที่กระทำต่อเพลา, (3.678 kN)

Y = ระยะโก่งของเพลา, (mm.)

= $\frac{FL^3}{48EI}$, I = $\frac{\pi d^4}{64}$

= $\frac{(3.678kN)(1,775mm)^3}{48\left(205\frac{kN}{mm^2}\right)\left(\frac{\pi}{64}(35mm)^4\right)}$

= 28.103 mm.

แทนค่า $$n_c = 945\left[\frac{(3.678kN)(28.103mm)}{(3.678kN)(28.103mm)^2}\right]^{1/2} = 178.261rpm$$

การออกแบบที่ดีต้องให้เพลาทำงานที่ความเร็วที่สูงกว่าหรือต่ำกว่า 25% ของความเร็ววิกฤตนั่นคือ $178.261 \pm 44.565rpm$ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ความเร็วที่สูงกว่า 25% ของความเร็ววิกฤต เพราะเป็นช่วงความเร็วการทำงานของจอบหมุน นั่นคือช่วงของความเร็ว 232 rpm

11.2 ตรวจสอบขนาดของมู่เล่

$$T = Fr$$

เมื่อ T = โมเมนต์บิด, (378,831.895Nmm)

F = แรง

r = รัศมีของมู่เลย์, (5in, r = 63.5mm)

แทนค่า $$F = \frac{378{,}831.895Nmm}{63.5mm} = 5965.856N$$

11.3 ตรวจสอบความยาวของสายพาน

- กรณีวางลักษณะตรง

$$L_a = 2C + 1.57(D + d_1) + \frac{(D-d)^2}{4C}$$

- กรณีวางลักษณะไขว้

$$L_a = 2C + 1.57(D + d_1) + \frac{(D+d)^2}{4C}$$

เมื่อ L_a = ความยาวของสายพาน, in

C = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของมู่เล่ย์, in

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ย์ขับ, in

d_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ย์ตาม, in

แทนค่า $L_a = (2 \times 32.19) + (1.57 \times (5+5)) + \frac{(5+5)^2}{(4 \times 32.19)} = 80.85in = 2{,}053.59mm$

12. การคำนวณเกี่ยวกับแบริ่ง

สำหรับแบริ่งที่ใช้ในการรองรับเพลาของใบกวาดปุ๋ยทั้งสองข้างเป็นโรลเลอร์แบริ่งที่มีขนาดรูสวม 35 มิลลิเมตร

■ กำลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทาน

$$W_p = \frac{\pi f F_r d n}{60}$$

เมื่อ W_p = กำลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทาน, W

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานขณะเริ่มทำงานในแนวรัศมี, 0.0025

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานขณะเริ่มทำงานในแนวรัศมี, 0.0015

F_r = แรงในแนวรัศมี, 1.491 kN

d = ขนาดรูสวม, 35 mm

n = ความเร็วรอบ, 232 rpm

แทนค่า $W_p = \frac{\pi \times 0.0025 \times 1.491 \times 10^3 \times 35 \times 232}{60 \times 1000} = 1.584W$ (ขณะเริ่มทำงาน)

$W_p = \frac{\pi \times 0.0015 \times 1.491 \times 10^3 \times 35 \times 232}{60 \times 1000} = 0.951W$ (ขณะทำงาน)

■ โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียดทาน

$$T = \frac{f F_r d}{2}$$

เมื่อ T = โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียดทาน

แทนค่า $T = \frac{0.0025 \times 1.491 \times 10^3 \times 35}{2 \times 1000} = 0.065Nm$ (ขณะเริ่มทำงาน)

$$T = \frac{0.0015 \times 1.491 \times 10^3 \times 35}{2 \times 1000} = 0.039 Nm \text{ (ขณะทำงาน)}$$

13. การคำนวณเกี่ยวกับความปลอดภัย

ค่าความปลอดภัยของแขนยก = $\frac{\text{ความสามารถสูงสุดของแขนยก}}{\text{น้ำหนักรวมของอุปกรณ์}}$

เมื่อ ความสามารถสูงสุดของแขนยก = 1,300 kg

จอบหมุนหนัก = 345 kg

ถังบรรจุหนัก = 150 kg

ปุ๋ยคอกหนัก = 357 kg

แทนค่า $= \frac{1{,}300 kg}{(345 + 150 + 357) kg} = 1.526$ เท่า

14. การคำนวณเกี่ยวกับจำนวนรอบการวิ่งของรถแทรกเตอร์บนพื้นที่ 1 ไร่

เที่ยวที่วิ่ง = $\frac{\text{ความกว้างของอุปกรณ์}}{\text{ความกว้างของพื้นที่}}$

เมื่อ ความกว้างของพื้นที่ = 40 m

ความกว้างของอุปกรณ์ = 1.75 m

แทนค่า $= \frac{40m}{1.75m} = 23$ เที่ยว

15. การคำนวณขนาดเพลาของใบกวาดปุ๋ย

เหล็ก AISI 1020 CD $\sigma_y = 78 ksi \times \frac{6.895 \, N/mm^2}{1 ksi} = 537.81 \, n/mm^2$

ใช้ส่งกำลังขนาด $W_p = 9.203 kW$

ความเร็วรอบ $n = 232 rpm$

จากสมการ $W_p = 2\pi mT$

ความเค้นเฉือนสูงสุด $\tau_d = \frac{Tr}{J} = \frac{16T}{\pi d^3}$

เมื่อ $T = 378.802 Nm \times \frac{1000 mm}{1 m} = 378802 Nmm.$

$$\tau_d = \frac{0.6\sigma_y}{N} = \frac{0.6 \times 537.81}{7} = 46.098 \, {}^{N}\!/_{mm^2}$$

แทนค่า $$46.098 = \frac{16 \times 378802}{\pi d^3}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times 378802}{\pi \times 46.098}} = 34.719 mm.$$

เลือกใช้ขนาด 35 mm. เพราะมีขายในท้องตลาด

16 การคำนวณขนาดของสลักเกลียว

แรงหรือน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำลงบนขาทั้ง 4 ขาของโครงขาตั้งเครื่อง

= น้ำหนักของถังบรรจุปุ๋ย + น้ำหนักของปุ๋ย

$= \left(144 kg \times 9.81 \, {}^{m}\!/_{s^2}\right) + \left(300 kg \times 9.81 \, {}^{m}\!/_{s^2}\right)$

= 4355.64 N

แรงที่กระทำลงบนขาของโครงขาตั้งเครื่อง 1 ขา

$= \frac{4355.64}{4} = 1088.91 N$

จากสมการ $\tau_d = \frac{F}{A}$

สลักเกลียวทำจาก AISI C1020 และความปลอดภัย 7

$$\sigma_y = 48 ksi \times \frac{6.895 \, {}^{N}\!/_{mm^2}}{1 ksi} = 330.86 \, {}^{N}\!/_{mm^2}$$

$$\tau_y = 0.6\sigma_y = 0.6 \times 330.86 \, {}^{N}\!/_{mm^2} = 198.576 \, {}^{N}\!/_{mm^2}$$

$$\tau_d = \frac{\tau_y}{N} = \frac{198.576 \, {}^{N}\!/_{mm^2}}{7} = 28.368 \, {}^{N}\!/_{mm^2}$$

เพราะฉะนั้นขนาดของสลักเกลียวคือ

$$d = \sqrt{\frac{1088.91N}{\pi/4 \times 28.368\, N/mm^2}} = 6.99mm$$

ดังนั้นสลักเกลียวที่ได้คือ M8

17 การคำนวณขนาดรอยเชื่อมมุม

ต้องการให้รับแรง $F = 1088.91N$

ความปลอดภัย $N = 3.75$

ลวดเชื่อมไฟฟ้า E432 ที่สามารถรับแรงดึงได้ $440\, N/mm^2$

ระยะ $a = 200mm,\ d = 50mm$

$$\sigma_y = 0.82\sigma_u = 0.82 \times 440\, N/mm^2 = 360.8\, N/mm^2$$

$$\tau_y = 0.6\sigma_y = 0.6 \times 360.8\, N/mm^2 = 216.48\, N/mm^2$$

$$I_u = \frac{d^3}{6} = \frac{50^3}{6} = 20833.333mm^3$$

$$I = tI_u = 20833.333t$$

ความเค้นเฉือน

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{1088.91N}{2td} = \frac{1088.91N}{2 \times 50 \times t} = \frac{1.089}{t}\, N/mm^2$$

ความเค้นดัด

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{1088.91N \times 200mm \times \left(\frac{50mm}{2}\right)}{20833.333t} = \frac{261.338}{t}\, N/mm^2$$

จากสมการ

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

$$\frac{216.48 \, N/mm^2}{3.75} = \left[\left(\frac{1.089}{t} \right)^2 + \left(\frac{261.338}{2t} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$t = 2.263mm$$

ขนาดของรอยเชื่อมมุม

$$h = \frac{t}{0.707} = \frac{2.263mm}{0.707} = 3.2mm$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. การกำหนดราคาขายหรือราคาแรกซื้อ

ราคาขายต่อหน่วย = ต้นทุนต่อหน่วย + 10% ของราคาทุน

เมื่อ ต้นทุนต่อหน่วย : ค่าวัสดุและอุปกรณ์สิ้นเปลือง = 16,200 บาท

ค่าแรงงานวันละ 300 บาท 2 คน 3 วัน = 300 บาท x 2 คน x 3 วัน

= 1,800

รวม = 18,000 บาท

แทนค่า

ราคาขายต่อหน่วย = 18,000 + (0.1*18,000) = 19,800 บาท

2. การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่ของเครื่องจักร

ค่าใช้จ่ายคงที่ = ค่าเสื่อมราคา + ค่าดอกเบี้ย + ค่าภาษีและค่าประกัน + ค่าโรงเรือน

2.1 ค่าเสื่อมราคา (วิธีเส้นตรง)

$$D_1 = \frac{P_1 - S}{L}$$

เมื่อ D_1 = ค่าเสื่อมราคาต่อปี, บาท

P_1 = ราคาแรกซื้อ, 19,800 บาท

S = ราคาเมื่อหมดอายุหรือราคาขาย, 0.1P

= (0.1)(19,800)

= 1,980 บาท

L = อายุการใช้งาน, 7 ปี

แทนค่า $= \frac{19,800 - 1,980}{7} = 2545.71$ บาทต่อปี

2.2 ค่าดอกเบี้ยโดยอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 7% ต่อ ปี

$$I = \frac{1}{2}(P_1 + S)i$$

เมื่อ I = ดอกเบี้ยในการลงทุนแต่ละปี, บาท

P_1 = ราคาแรกซื้อ, 19,800 บาท

S = ราคาเมื่อหมดอายุหรือราคาขาย, 0.1P

= (0.1)(19,800)

= 1,980 บาท

แทนค่า $= \frac{1}{2}(19{,}800 + 1{,}980)0.07 = 762.3$ บาทต่อปี

2.3 ค่าภาษี และค่าประกัน ไม่มี = 0 บาท

2.4 ค่าโรงเรือน ไม่มี = 0 บาท

สรุป ค่าใช้จ่ายคงที่ = 2,545.71 + 762.3 + 0 + 0 = 3,308.01 ≈ 3,308 บาทต่อปี

3. การคำนวณหาค่าใช้จ่ายผันแปร

3.1 ค่าแรงงาน = 300 บาทต่อวัน

= 37.5 บาทต่อชั่วโมง

3.2 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น

3.2.1 น้ำมันเชื้อเพลิง (พิจารณาที่การใช้น้ำมัน 3.2 ลิตรต่อไร่ และความสามารถจริงในการทำงาน 1.28 ไร่ต่อชั่วโมง)

ดังนั้น $\frac{3.2 litre}{1 rai} \times \frac{1.28 rai}{1 hr} = 4.09 \frac{litre}{hr}$

เมื่อ 1 ลิตร = 30 บาทต่อลิตร

ถ้า 4.09 ลิตร = 122.7 บาทต่อชั่วโมง

3.2.2 น้ำมันหล่อลื่น

เมื่อ 1 ลิตร = 60 บาท

อัตราการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ 0.15 ลิตร ต่อ 1 ชั่วโมง

ดังนั้น $\frac{0.15 litre}{1 hr} \times 60 \frac{Bath}{litre} = 9 \frac{bath}{hr}$

รวม = 122.7+9 = 131.7 บาทต่อชั่วโมง

3.3 ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา

= (6%)P/100 ชั่วโมง

= $\frac{19{,}800 \times 0.06}{100 hr}$

= 11.88 บาทต่อชั่วโมง

สรุป ค่าใช้จ่ายผันแปร = 37.5 + 131.7 + 11.88 = 181.08 บาทต่อชั่วโมง

= $181.08 \frac{bath}{hr} \times \frac{1 hr}{1.28 rai} \approx$ 141 บาทต่อไร่

4. คำนวณค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้หลังการใช้เครื่องต้นแบบ

ตารางที่ ง.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเกษตรกรในการเตรียมดินปลูกข้าวบนพื้นที่ 1 ไร่

รายการ	ก่อนมีเครื่องต้นแบบ	หลังมีเครื่องต้นแบบ
ค่าไถดะ (บาทต่อไร่)	220	220
ค่าไถแปร (บาทต่อไร่)	185	185
ค่าไถพรวน (บาทต่อไร่)	150	150
ค่ารถบรรทุกปุ๋ย (บาทต่อเที่ยวต่อไร่)	175	0
ค่าแรงงานขนปุ๋ย (บาทต่อคนต่อไร่)	37.5	0
รวม	767.5	555

สรุป ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้หลังจากการใช้เครื่องต้นแบบ

$= 767.5 - 555$
$= 212.5$

5. การคำนวณหาปริมาณพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องจักร (Break Even Point)

$$x = \frac{FC}{B - VC}$$

เมื่อ x = ปริมาณพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่อง, ไร่ต่อปี
FC = ค่าใช้จ่ายคงที่ของเครื่อง, 3,308 บาทต่อปี
B = ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้, 212.5 บาทต่อไร่
VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร, 141 บาทต่อไร่

แทนค่า $= \frac{3{,}308}{212.5 - 141} = 46.265 \approx 47$ ไร่ต่อปี

6. ระยะเวลาในการคืนทุน (Pay Back Period, PBP)

$$PBP = \frac{P}{R}$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักร, ปี
P = ราคาแรกซื้อของเครื่องจักร 19,800 บาท
R = กำไรสุทธิเฉลี่ย, บาท
= รายได้ที่เพิ่มขึ้นและค่าใช้จ่ายที่ลดลง – ผลรวมของรายจ่ายที่เพิ่มขึ้นและรายได้ที่ลดลง

แทนค่า $= \frac{19{,}800}{(767.5 - 555) \times 47} = 1.982 \approx 2$ ปี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

กันญา โกสุมภ์ และ สามารถ บุญอาจ. (2555). **การออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว**. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 (การผสมเทคโนโลยี และการเกษตรแบบยั่งยืน). 4 – 5 เมษายน 2555 โรงแรมอิมพีเรียล แม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่.

กันญา โกสุมภ์ และ สามารถ บุญอาจ. (2554). **การศึกษาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว**. การประชุมวิชาการวิจัย มอบ. ครั้งที่ 5 การบูรณาการวิจัยสู่ประชาคมอาเซียน. 4 – 5 สิงหาคม 2554 โรงแรมสุณีย์ แกรนด์ จังหวัดอุบลราชธานี.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

การออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุน สำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว

Design and Development of Manure Fertilizer Applicator Equipped With Rotary Tiller for Paddy Field Tillage

กันญา โกสุมภ์[1]*, สามารถ บุญอาจ[2]

[1] สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ / สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
[2] สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ / สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
* kk_changnoi@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการดำเนินการออกแบบ สร้างและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกให้สามารถทำงานพร้อมกับจอบหมุนเพื่อใช้เตรียมดินในนาข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการบดอัดดินโดยลดจำนวนครั้งของการวิ่งผ่านหน้าดินให้น้อยลง ปุ๋ยคอกที่ใช้ทดลองมีความชื้น 15% ตัวแปรในการทดลอง คือ จำนวนใบกวาดปุ๋ย (4, 6, 8 ใบ) และรูปร่างของใบกวาด (รูปทรงตรง รูปทรงตัวแอล รูปทรงตัวซี) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบแบบจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกเพื่อหาจำนวนใบกวาด และรูปร่างของใบกวาดที่เหมาะสม และการทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อหาความสามารถในการทำงาน อัตราการโรยปุ๋ยคอก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพในการทำงานต่อพื้นที่ จุดคุ้มทุน และอัตราผลตอบแทนในการทำงานของเครื่อง

ผลการทดสอบแบบจำลอง พบว่า ปุ๋ยคอกสามารถเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อใช้ใบกวาดแบบ 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี ส่วนผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ พบว่า ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 1, 2 และ 3 ต่ำ มีความสามารถในการทำงาน 0.86, 0.91 และ 1.28 ไร่ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ความสามารถในการโรยปุ๋ยต่อพื้นที่ 906.67, 693.33 และ426.67 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3.46, 3.38 และ 3.2 ลิตรต่อไร่ ประสิทธิภาพในการทำงานต่อพื้นที่ 56%, 58% และ 80% ตามลำดับ โดยที่จุดคุ้มทุนการใช้เครื่องโรยปุ๋ยคอกบนจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว พบว่า มีค่าเท่ากับ 8 ไร่ต่อปีจะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 4 ปี

คำหลัก:เครื่องโรยปุ๋ยคอก จอบหมุน การเตรียมดินในนาข้าว

Abstract

This research is the design, build and develop of a prototype of manure applicator with rotary and regulator to use on soil preparation of paddy field. The main objective is to reduce the number of passes on the field in order to prevent soil compaction. In this study manure at 15% moistures were used. Parameter in this study were number of plates (4, 6 and 8) and plate shape (straight, C-shaped and L-shaped). The study was divided into two steps. Firstly, a model was built which holds a regulator and tests it for properly number of plates

and plate shape. Secondly, to tests the prototype for field capacity, rate of fertilizer spread and fuel consumption. Work efficiency per area, break even point and the rate of return to work.

The results from the model test shown that the C-shaped and 6 plate regulator is the best type and the results from the field test shown that the field capacity were 0.86, 0.91 and 1.28 rai per hour at tractor speed 1, 2 and 3 –low respectively. While, the tractor could spread 906.67, 693.33 and 426.67 kilograms of fertilizer per rai. The fuel consumption were 3.46, 3.38 and 3.20 litres per rai respectively. Work efficiency per area 56%, 58% and 80% . Break even point is 8 rai per year. Can payback within approximately four years.

Keywords: Manure Applicator, Rotary, Paddy Field Tillage.

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเปลือกนาปีได้ 22.177 ล้านตัน ข้าวเปลือกนาปรังได้ 8.863 ล้านตันมีการส่งออกข้าวสาร 3.992 ล้านตัน ซึ่งปัจจุบันทั่วโลกมีปริมาณความต้องการข้าวเพื่อการบริโภค ประมาณ 417.7 ล้านตันต่อปี ถือเป็นปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับสินค้าเกษตรชนิดอื่นๆ หากสามารถเพิ่มปริมาณการส่งออกข้าวได้มากขึ้น ด้วยการเพิ่มผลผลิตต่อไร่และการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตต่อไร่ได้โดยที่ยังคงมีพื้นที่การผลิตเท่าเดิม จะส่งผลให้ข้าวเป็นสินค้าเกษตรที่ช่วยเพิ่มเงินรายได้ให้กับประเทศไทยสูงขึ้นจากเดิม โดยปกติแล้วในกระบวนการผลิตข้าว ที่นอกจากเกษตรกรต้องคำนึงถึงพันธุ์ข้าวที่จะนำมาปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยวแล้ว การเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกข้าว ก็มีความสำคัญมากเช่นกัน [9,11,12]

ปัจจุบันเครื่องจักรกลทางการเกษตรได้เข้ามามีบทบาทในการทำเกษตรกรรมของเกษตรกรไทยอย่างแพร่หลายกว่าในอดีต ยิ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาการใช้รถแทรกเตอร์สี่ล้อขนาดกลางต่อพ่วงจอบหมุนมาช่วยในการเตรียมดินสำหรับการทำนาในเขตพื้นที่ชลประทานได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะมีส่วนช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน ทำให้เกษตรกรสามารถเตรียมดินได้ทันต่อความต้องการในฤดูกาลเพาะปลูก และที่สำคัญ คือ สามารถทดแทนแรงงานในภาคการเกษตรที่ส่วนหนึ่งได้ย้ายเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมและบริการ ซึ่งจอบหมุนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมดินขั้นที่สอง ที่ได้รับความนิยมมาก เพราะสามารถเตรียมดินได้ดีรวดเร็ว และคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่เด่นและสำคัญคือ ช่วยลดการติดหล่มของรถแทรกเตอร์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ผาล เพราะไม่ต้องอาศัยแรงฉุดลากแต่สามารถขับตรงจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ หมุนขับใบมีดที่ยึดติดกับแกนหมุนให้สับดินย่อยชี้ไถให้แตกกระจายเป็นก้อนเล็กๆ และหมุนคลุกเคล้าเศษหญ้า ฟาง ให้ผสมเข้ากับดิน [1,5,6]

เกษตรกรส่วนใหญ่มีการเลี้ยงสัตว์จำพวก โค กระบือ เป็นอาชีพเสริม และผลพลอยได้คือ มูลสัตว์ หรือเรียกว่า ปุ๋ยคอก (ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยที่ได้จากมูลและสิ่งขับถ่ายของสัตว์) โดยที่ปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และมีคุณสมบัติในการปรับสภาพของดิน ช่วยปรับปรุงดินให้โปร่ง ร่วนซุย ทำให้ง่ายต่อการเตรียมดิน การตั้งตัวของต้นกล้าที่เร็วขึ้น ทำให้มีโอกาสรอดได้มาก ในนาข้าวที่เป็นดินทราย เช่น ดินในภาคอีสาน ปกติชาวนานิยมนำปุ๋ยคอกไปใส่แปลงนาในช่วงฤดูแล้ง โดยการใช้แรงงานคนในการขนย้ายปุ๋ยคอกใส่รถบรรทุกไปในแปลงนาแล้วใช้แรงงานคนในการกระจายปุ๋ยคอกลงในแปลงนาอีกครั้ง เหตุผลที่เกษตรกรนิยมใส่ปุ๋ยคอกในฤดูแล้งเพราะว่าเป็นช่วงที่ดินในแปลงนาแห้งสนิท รถบรรทุกสามารถลงไปวิ่งได้ เมื่อชาวนากระจายปุ๋ยคอกลงในแปลงนาเป็นกองๆ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 2 อาทิตย์ จึงจะทำการไถกลบ และการกระทำเช่นนี้มีผลโดยตรงกับคุณภาพของปุ๋ยคอก คือทำให้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยคอกที่มีอยู่น้อยอยู่แล้วเกิดการสลายตัวไปในอากาศได้ จากข้อมูลจะพบว่า เกษตรกรจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายหลายครั้งในส่วนของแรงงานและยานพาหนะที่ใช้ในการขนย้ายปุ๋ยคอก และอีกประการที่สำคัญ คือ การนำยานพาหนะที่มีน้ำหนักมากลงไปเหยียบในแปลงนามีผลต่อการอัดตัวของหน้าดิน ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียโดยตรงกับเกษตรกรในการเตรียมดินในฤดูกาลเพาะปลูกครั้งต่อไปที่จะทำได้ยากขึ้น เพราะการอัดแน่นของหน้าดิน และจากสภาพของดินฟ้าอากาศ ในปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาส่งผลให้มีฤดูกาลที่ไม่ชัดเจน จึงทำให้การขนย้ายปุ๋ยคอกในปริมาณมากๆ ลงไปในแปลงนาของเกษตรกรทำได้ยากมากขึ้น เพราะดินในแปลงนาอาจไม่แห้งสนิท [2,10]

และจากการศึกษาการออกแบบกระบะ ชุดโซ่ลำเลียง และใบพัดของเครื่องหว่านปุ๋ยคอกชนิดแกลบผสมมูลไก่แบบพ่วงรถแทรกเตอร์ 4 ล้อขนาด 75 แรงม้า ได้ออกแบบโครงสร้างของกระบะใส่ปุ๋ยขนาด 144*300*144 ซม โดยมีความชันของกระบะ 50 องศา ซึ่งเป็นความลาดชันที่ให้ปุ๋ยเคลื่อนที่ลงระบบลำเลียงได้สะดวกและสามารถบรรจุปุ๋ยได้ 6 ลบ.ม ระบบลำเลียงปุ๋ยเป็นแบบโซ่ลำเลียง 1 คู่ และมีเหล็กทรงสี่เหลี่ยมตันยึดติดกับข้อโซ่เป็นช่วงห่างกัน 25 ซม หมุนลำเลียงเคลื่อนที่ไปบนแผ่นเหล็กพื้นกระบะและลำเลียงปุ๋ยไปสู่ใบพัดหว่านปุ๋ยการขับใบพัดจะต่อเพลาจากเพลาอำนวยกำลัง โดยใช้มูเลย์และสายพาน ซึ่งมีอัตราทดไปยังใบพัด 1:4.5 ทำให้ใบพัดมีความเร็วในการหว่านคงที่ [7,8]

ผู้วิจัยมองเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกร จึงได้ทำการศึกษาออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวขึ้นเพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถทำการผสมปุ๋ยคอกกับดินในแปลงนาไปได้ในครั้งเดียวกันโดยทันทีด้วยการทำงานของจอบหมุน ซึ่งถือเป็นการทำงานที่รวมทั้งสองขั้นตอนมาไว้ในการทำงานเพียงครั้งเดียว ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปัญหาการอัดตัวของหน้าดิน ลดต้นทุนในการผลิต ลดแรงงานในภาคการเกษตร โดยที่การออกแบบเครื่องโรยปุ๋ยคอกนี้จะอาศัยต้นกำลังในการขับเคลื่อนตัวขับปุ๋ยคอกจากเพลาของจอบหมุน โดยเน้นความสำคัญของการออกแบบไปที่ ง่ายต่อการใช้งานและการซ่อมบำรุงของเกษตรกร อีกทั้งสะดวกกับการนำไปต่อพ่วงกับจอบหมุนที่เกษตรกรมีใช้อยู่แล้ว

2. อุปกรณ์และวิธีการ

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 5 ส่วน หลักดังนี้

2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการเตรียมดินปลูกข้าวเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ในการเตรียมดิน และปุ๋ยคอก ปุ๋ยคอกที่นำมาศึกษาเป็นปุ๋ยขี้วัวที่ได้จากเกษตรกรในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการแบ่งปุ๋ยขี้วัวออกเป็นสามส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปทดลองหาขนาดและรูปร่างของปุ๋ยคอกด้วยตะแกรงคัดขนาด ส่วนที่สองนำไปทดลองกับชุดจำลองของเครื่องฯ เพื่อหาจำนวนและชนิดของใบกวาดปุ๋ยคอกที่เหมาะสม และส่วนที่สามนำไปใช้กับการทดลองในภาคสนามของเครื่องต้นแบบ[3,4]

2.2. การออกแบบ

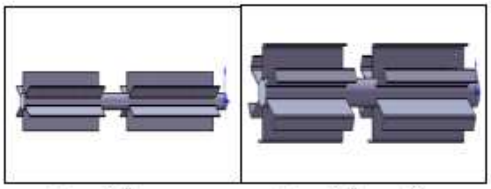
งานวิจัยในครั้งนี้ทำการออกแบบภายใต้แนวคิดที่ต้องการลดภาระให้กับเกษตรกร ดังนั้น จึงต้องเป็นชิ้นงานที่ง่ายทั้งในแง่ของการทำงานและซ่อมบำรุง การต่อพ่วงที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีการกำหนดขนาดของเครื่องต้นแบบจากข้อมูลเบื้องต้นของรถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น L4508 จอบหมุนรุ่น RX180F และความต้องการปุ๋ยคอกต่อพื้นที่ โดยการออกแบบแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นถังบรรจุปุ๋ยคอก ส่วนที่สองเป็นใบกวาดปุ๋ยคอก และส่วนที่สามเป็นระบบส่งกำลัง

2.3. การวิเคราะห์โครงสร้าง

แบบเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม COSMOSXpress เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับแก้สำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบต่อไป วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ที่กำหนดให้แรงที่มากระทำกับโครงสร้างเป็นแบบคงที่ เพราะในสภาพการณ์ทำงานจริง แรงที่มากระทำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนการกำหนดขนาดของ Element ในการคำนวณครั้งนี้เป็นการกำหนดเองโดยอัตโนมัติของโปรแกรมที่ใช้

2.4. สร้างและทดสอบชุดจำลองของเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว

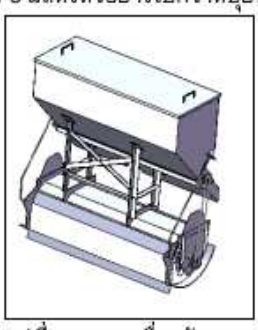
ด้วยอัตราส่วนชิ้นงานจริงต่อชุดจำลอง 1:3 ทั้งนี้ในส่วนของถังบรรจุปุ๋ยทำด้วยแผ่นอะคลิลิคหนา 3 มม เพื่อให้สามารถมองเห็นการทำงานของใบกวาดปุ๋ยและการเคลื่อนตัวของปุ๋ยคอก ทดสอบโดยการติดตั้งส่วนประกอบทั้งสามส่วนเรียบร้อยแล้ว โดยที่ในส่วนที่หนึ่งเลือกเอาใบกวาดปุ๋ยคอกชนิดรูปทรงตัวตรง จำนวน 4 ใบกวาด มาทำการทดลอง โดยเดินเครื่องเพื่อปรับตั้งความเร็วรอบไปที่ 232 rpm ใส่ปุ๋ยคอกที่เตรียม ไว้ลงในถังบรรจุปุ๋ยคอก ดึงตัวเปิดปุ๋ยคอกออก จับเวลาที่ปุ๋ยคอกเริ่มเคลื่อนที่ออกจากถังบรรจุปุ๋ยคอกจนปุ๋ยคอกหมดถัง พร้อมทั้งสังเกตการณ์เคลื่อนตัวของปุ๋ยคอก ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ แล้วจึงเปลี่ยนใบกวาดปุ๋ยคอกเป็นจำนวน 6 ใบกวาดและ 8 ใบกวาด ตามลำดับ เพื่อหาจำนวนของใบกวาดปุ๋ยคอกที่สามารถทำงานได้ดีที่สุด จากนั้นจึงเปลี่ยนไปทดลองกับใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปทรงตัวแอล และรูปทรงตัวซี ตามลำดับ



(ก) ชนิดใบตรง (ข) ชนิดใบรูปตัวแอล

(ค) ชนิดใบรูปตัวซี

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างใบกวาดปุ๋ยคอก

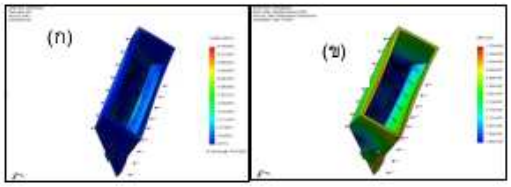


รูปที่ 4 แสดงเครื่องต้นแบบ

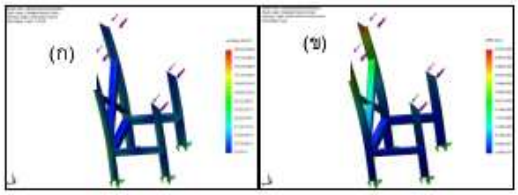
3.3. การวิเคราะห์โครงสร้าง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยคอกด้วยโปรแกรม COSMOSXpress ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าความเค้นสูงสุดของถังบรรจุปุ๋ยดังรูป (ก) มีค่าเท่ากับ 5.47e+007 MN/m^2 ที่ตำแหน่ง -474.11 mm 234.99 mm และ 485.60 mm โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 7 ซึ่งถังบรรจุปุ๋ยสามารถทำงานภายใต้สภาวะดังกล่าวได้โดยไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใดเพราะว่าแรงที่กระทำกับถังบรรจุปุ๋ยจะลดลงตลอดเวลาที่มีการปล่อยปุ๋ยคอกออกจากเครื่องต้นแบบระยะ

การเคลื่อนตัวหรือการเสียรูปทรงของถังบรรจุปุ๋ยคอกสูงสุดดังรูป (ข) เท่ากับ 1.25 mm ที่ตำแหน่ง -58.34 mm 1,457.84 mm และ 1,243.15 mm ที่ผลเป็นเช่นนี้เพราะเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด และเมื่อมีการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นจึงได้ทำการพับขอบของถังบรรจุปุ๋ย เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงและลดการเสียรูปทรงของถังบรรจุปุ๋ยในขณะที่มีปุ๋ยบรรจุอยู่เต็มถัง



รูปที่ 5 แสดงผลของความเค้น (ก) และระยะการเคลื่อนตัว (ข) ที่เกิดขึ้นกับถังบรรจุปุ๋ยจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

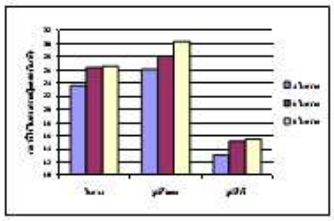


รูปที่ 6 แสดงผลของความเค้น (ก) และระยะการเคลื่อนตัว (ข) ที่เกิดขึ้นกับขาตั้งของถังบรรจุปุ๋ยจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

และในส่วนของโครงสร้างของขาตั้งของถังบรรจุปุ๋ยที่แสดงในรูปที่ 6 พบว่า ความเค้นสูงสุดของถังบรรจุปุ๋ยในรูป (ก) มีค่าเท่ากับ 1.88e+008 MN/m^2 ที่ตำแหน่ง 54.22 mm, 241.78 mm และ 709.955 mm โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2 ขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบสามารถทำงานภายใต้สภาวะดังกล่าวได้โดยไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใด เพราะว่าแรงที่กระทำกับขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยจะลดลงตลอดเวลาที่มีการปล่อยปุ๋ยคอกออกจากเครื่องต้นแบบ ระยะการเคลื่อนตัวหรือการเสียรูปทรงของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยของเครื่องต้นแบบสูงสุดในรูป (ข) เท่ากับ 5.24 mm ที่ตำแหน่ง 138.91mm 883.06 mm และ -8.47 mm ที่ผลเป็นเช่นนี้เพราะเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดเนื่องจากในการวิเคราะห์ที่บริเวณดังกล่าวเป็นปลายปล่อยอิสระไม่มีการจับยึด และเมื่อมีการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นจึงได้ทำการจับยึดบริเวณดังกล่าวกับถังบรรจุปุ๋ย เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงและลดการเสียรูปทรงของขาตั้งถังบรรจุปุ๋ยในขณะที่มีปุ๋ยบรรจุอยู่เต็มถัง

3.4. การทดสอบชุดจำลองเครื่องฯ

จากการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการทำงานของใบกวาดปุ๋ยคอกในชุดจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอก โดยให้กวาดปุ๋ยคอก 6 กิโลกรัม ที่ความเร็ว 232 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการกวาดปุ๋ยคอกของใบกวาดลักษณะต่าง ๆ

จากการทดสอบรูปร่างใบกวาดปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด พบว่า ใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปตัวซี ใช้เวลาในการกวาดปุ๋ยน้อยกว่าใบกวาดปุ๋ยชนิดอื่น เพราะมีความโค้งตรงกลางใบ ทำให้สามารถเก็บปุ๋ยในทุกจังหวะของการกวาดได้มากกว่าใบตรงและรูปตัวแอล โดยที่ใบกวาดปุ๋ยรูปตัวซีแบบ 4 ใบกวาด เป็นชนิดที่มีความสามารถในการกวาดปุ๋ยมากกว่าทุกชนิด แต่มีข้อเสียคือ เปลืองปุ๋ยคอกมากกว่าแบบอื่น ๆ หากนำไปใช้เป็นใบกวาดปุ๋ยในเครื่องต้นแบบดังนั้นจึงเลือกใช้ใบกวาดชนิดรูปตัวซีแบบ 6 ใบกวาด ที่ใช้เวลาในการกวาดปุ๋ยคอกมากกว่าแบบ 4 ใบกวาด แต่สิ้นเปลืองปุ๋ยคอกน้อยลง

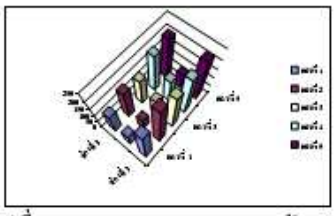
3.5. การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

เมื่อทำการสร้างเครื่องต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 8 แล้วจึงได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบนั้นแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

รูปที่ 8 แสดงเครื่องต้นแบบที่สร้างและติดตั้งกับแทรกเตอร์ต้นกำลัง

3.5.1. การทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

ในการทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกของเครื่องต้นแบบด้วยการให้รถแทรกเตอร์ต้นกำลังวิ่งตรงไปบนพื้นที่ที่เตรียมไว้ด้วยความเร็วคงที่ ยกจอบหมุนขึ้นเหนือพื้นแล้วปล่อยให้เครื่องต้นแบบทำงานดังรูปที่ 9

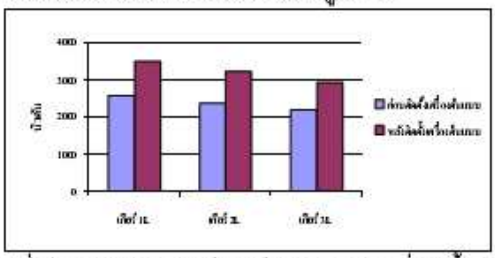


รูปที่ 9 แสดงผลของการกระจายตัวของปุ๋ยคอกจากเครื่องต้นแบบ

จากรูปที่ 9 พบว่า การกระจายตัวของปุ๋ยคอกที่ได้จากเครื่องต้นแบบนั้นเป็นการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ เพราะการออกแบบให้ถังบรรจุปุ๋ยมีช่องปิดเหนือบริเวณที่เป็นจุดต่อของเพลาอำนวยกำลัง เพื่อป้องกันไม่ให้ปุ๋ยไหลลงในบริเวณดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ปุ๋ยคอกช่วงกลางของถังบรรจุมีการอัดตัวกันแน่นกว่าด้านข้างของถังบรรจุปุ๋ย จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การกระจายตัวของปุ๋ยคอกในช่วงกลางของความยาวของถังบรรจุปุ๋ยน้อยกว่าด้านข้างทั้งสองด้าน ถึงแม้ว่าเครื่องต้นแบบจะไม่สามารถกระจายปุ๋ยคอกให้สม่ำเสมอได้ แต่จะไม่ส่งผลเสียใดต่อการเตรียมดินทำนาข้าว เพราะปุ๋ยคอกที่ไหลลงมานั้นจะถูกจอบหมุนตีปุ๋ยคอกให้คลุกเคล้ากับดินในแปลงได้โดยทั่วถึงตลอดพื้นที่

3.5.2. การทดสอบแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ

การทดสอบนี้เพื่อหาแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ต้นกำลัง เมื่อต้องติดตั้งเครื่องต้นแบบกับเมื่อไม่ติดตั้งเครื่องต้นแบบ ดังแสดงผลในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับรถแทรกเตอร์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องต้นแบบ

จากการทดสอบเพื่อหาค่าแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ปรากฏรูปที่ 10 นั้นพบว่า รถแทรกเตอร์ที่ทำการติดตั้งเครื่องต้นแบบแล้วนั้นจะมีแรงฉุดลากสูงกว่ารถแทรกเตอร์ที่ทำการติดตั้งเฉพาะจอบหมุนโดยที่ค่าของแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบ จะสูงสุดที่การเดินรถที่ระดับเกียร์1 ต่ำ คือ 3,492.36 N แล้วลดลงที่

การเดินรถในระดับเกียร์ 2 ต่ำ คือ 3,217.68 N และ 3 ต่ำ คือ 2,914.63 N ตามลำดับ และค่าของแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเฉพาะจอบหมุน จะสูงสุดที่การเดินรถที่ระดับเกียร์1 ต่ำ คือ 2,557.14 N แล้วลดลงที่การเดินรถในระดับเกียร์ 2 ต่ำ คือ 2,364.98N และ 3 ต่ำ คือ 2,182.5 N ตามลำดับ

โดยสามารถเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของแรงฉุดลากเมื่อไม่ทำการติดตั้งเครื่องต้นแบบกับเมื่อทำการติดตั้งเครื่องต้นแบบ พบว่า ที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 1 ต่ำ แรงฉุดลากเพิ่มมากขึ้นเป็น 26.78% ที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 2 ต่ำ มีแรงฉุดลากเพิ่มมากขึ้นเป็น 26.50% และที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 3 ต่ำ แรงฉุดลากเพิ่มมากขึ้นเป็น 25.12% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของแรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ต้นกำลังที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบในทุกระดับความเร็วในการเคลื่อนที่มีความแตกต่างกันน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยที่ที่ระดับความเร็วในการเดินรถเกียร์ 3 ต่ำ มีค่าน้อยที่สุด เพราะการเคลื่อนที่ที่เกียร์สูงกว่าทำให้รถมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่สูงกว่า จึงสามารถเอาชนะแรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ได้มากกว่าซึ่งส่งผลให้แรงฉุดลากที่เกิดขึ้นน้อยลง

ทั้งนี้ที่แรงฉุดลากของรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเครื่องต้นแบบแล้วมีค่าแรงฉุดลากสูงกว่าในรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเฉพาะจอบหมุน ในทุกระดับความเร็วในการเดินรถ เพราะปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงฉุดลากมี 2 ปัจจัยหลัก คือ หน้ากว้างในการทำงานของเครื่องจักรและน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ต่อพ่วง ในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการเพิ่มหน้ากว้างในการทำงานของอุปกรณ์ต่อพวง แต่เพิ่มอุปกรณ์เสริมไปวางบนจอบหมุน ดังนั้นจึงส่งผลให้อุปกรณ์ต่อพ่วงมีน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับต้นกำลังสูงขึ้น

3.5.3. การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ

ในหัวข้อนี้เป็นส่วนของผลการทดลองที่เกิดขึ้นกับเครื่องต้นแบบ เพื่อแสดงถึงความสามารถจริงในการทำงาน ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพในการทำงาน ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ

รายการ	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์		
	เกียร์ 1ต่ำ	เกียร์ 2ต่ำ	เกียร์ 3ต่ำ
พื้นที่ที่ทำการทดสอบ (ตารางเมตร)	600	600	600
ความกว้างของหัวแปลง (เมตร)	15	15	15
ความสามารถจริงในการทำงาน(ไร่ต่อชั่วโมง)	0.86	0.91	1.28
ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก(กิโลกรัมต่อไร่)	906.67	693.33	426.67
ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	779.74	630.93	546.14
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง(ลิตรต่อไร่)	3.46	3.38	3.2
ประสิทธิภาพในการทำงาน(%)	56	58	80

3.5.4. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ประกอบไปด้วย1. การกำหนดราคาขายต่อหน่วยของเครื่องต้นแบบ 2. การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องต้นแบบต่อปี และ 3. การหาระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องต้นแบบโดยสามารถสรุปได้คือ เครื่องต้นแบบราคาราคา 19,800 บาท เกษตรกรจะสามารถได้ทุนคืนทั้งหมดในปีที่ 4 หากเกษตรกรนำไปใช้งานในพื้นที่ 8 ไร่ต่อปี

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง ทำให้ได้เครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว ที่มีส่วนประกอบหลักคือ โครงสร้างถังบรรจุปุ๋ย ใบกวาดปุ๋ย ที่สามารถใส่ปุ๋ยแล้วตีผสมกับดินได้ในขั้นตอนเดียว รวมถึงกลไกการทำงานของเครื่องทำงานไม่ซับซ้อนมากเกินไป โดยทำการทดลองใบกวาดปุ๋ยในชุดจำลอง พบว่า ใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปทรงตัวซีแบบ 6 ใบกวาด สามารถกวาดปุ๋ยคอกได้โดยไม่เกิดปัญหาติดขัดในระหว่างการทดลอง อีกทั้งสามารถกวาดปุ๋ยที่มีปริมาณเท่ากันโดยใช้เวลาต่ำกว่าใบกวาดชนิดอื่น คือ รูปทรงตัวตรง 26.39 s รูปทรงตัวแอล 28.10 s รูปทรงตัวซี 15.23 s จากการสร้างและทดสอบเครื่องต้นแบบพบว่า

เครื่องต้นแบบมีการกระจายตัวของปุ๋ยคอกไม่สม่ำเสมอแต่ไม่เป็นผลเสียใดต่อการเตรียมดินเพราะจอบหมุนทำหน้าที่ในการตีผสมปุ๋ยคอกกับดินให้ทั่วถึงกันได้ สำหรับแรงในการฉุดลากเมื่อติดตั้งเครื่องต้นแบบกับแทรกเตอร์ต้นกำลัง พบว่า ที่ความเร็วในการเดินรถระดับเกียร์ 3 ต่ำ มีค่าต่ำที่สุด คือ 25.12% เนื่องจากรถมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่จึงเอาชนะแรงเสียดทานได้ดีกว่าระดับเกียร์ 1 และ 2 และเมื่อนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบในแปลงที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 1 ต่ำ 2 ต่ำ และ 3 ต่ำพบว่า มีความสามารถจริงในการทำงาน 086, 0.91 และ 1.28 ไร่ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกที่ 906.67,693.33 และ 426.67กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุที่779.74,630.93และ546.14 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3.46, 3.38และ3.2 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการทำงานที่ 56, 58และ 80% ตามลำดับ เมื่อหาค่าความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงเครื่องต้นแบบเข้ากับจอบหมุนมีค่าเท่ากับ 0.472 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งน้อยกว่าที่เกิดขึ้นจากรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงจอบหมุน เพราะเมื่อยังไม่ทำการต่อพ่วงเครื่องต้นแบบ จำนวนเที่ยววิ่งในการเดินรถผ่านพื้นที่ทำงานก็จะเป็น 2 เที่ยว ถ้าทำการต่อพ่วงกับเครื่องต้นแบบแล้วนั้นจำนวนเที่ยววิ่งในการเดินรถผ่านพื้นที่ทำงานลดลงเป็น 1 เที่ยว ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยมากจึงไม่ส่งผลต่อความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบดอัดดินของล้อยาง แต่จำนวนของเที่ยววิ่งในการเดินรถผ่านพื้นที่ทำงานที่ลดลงหนึ่งเท่าจึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วงเครื่องต้นแบบเข้ากับจอบหมุนลดลง และเกษตรกรต้องใช้เครื่องนี้ทำงานปีละอย่างน้อย 8 ไร่ จึงจะคุ้มค่ากับการลงทุนโดยสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 4 ปี

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

6.1. หนังสือ/ตำรา

[1] จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์. 2542. **เครื่องจักรกลเกษตรเพื่อการเตรียมดิน**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

[2] ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] บัณฑิต จริโมภาส. 2545. **สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร ภาค 1: ทฤษฎี**. นครปฐม : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. 2538. **สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ**. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] พันทิภา อินทรวิชัย. 2535. **เครื่องทุ่นแรงฟาร์มภาค 2**. ปทุมธานี : ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร.

[6] สมชาย ปกรโณดม. 2522. **เครื่องจักรกลเกษตร : หลักการเบื้องต้น**. ขอนแก่น : ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์รุ่งเกียรติ.

6.2. ปริญญานิพนธ์

[7] จักรกฤช ตั้งรัตนโสภณ และคณะ. 2544. การออกแบบระบบส่งกำลัง และช่วงล่างของเครื่องหว่านปุ๋ยคอก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

[8] ศรีพงศ์ ตั้งรัตนโสภณ และคณะ. 2544. การออกแบบกระบะ ชุดโซ่ลำเลียง และใบพัดของเครื่องหว่านปุ๋ยคอก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

6.3. สื่ออิเลคทรอนิค

[9] กรมการค้าต่างประเทศ. 2554. **การส่งออกข้าว**. www.dft.moc.go.th . มี. ค. 23

[10] มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2554. **รู้เรื่องข้าว**. www.thairice.org . ก.พ. 4

[11] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2554. **ผลผลิตข้าว**. www.thairiceexporters.or.th .มี.ค. 23

[12] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. 2553. **การเพาะปลูกข้าว**. www.ricethailand.go.th/info_riceknowledge.htm. ธ.ค.25

การศึกษาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว
Study of Manure Fertilizer Applicator Equipped with Rotary Tiller for Paddy Field Tillage

ชื่อผู้แต่ง ก[1]นางสาวกันญา โกสุมภ์, ดร.สามารถ บุญอาจ [2]
[1] สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ / สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
[2] สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ / สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
*kk_changnoi@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการดำเนินการออกแบบ สร้างและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกให้สามารถทำงานพร้อมกับจอบหมุนเพื่อใช้เตรียมดินในนาข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการบดอัดดินโดยลดจำนวนครั้งของการวิ่งผ่านหน้าดินให้น้อยลง ปุ๋ยคอกที่ใช้ทดลองมีความชื้น 15% ตัวแปรในการทดลองคือ จำนวนใบกวาดปุ๋ย (4, 6 และ 8 ใบ) และรูปร่างของใบกวาด (รูปทรงตัวตรง รูปทรงตัวแอล รูปทรงตัวซี) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบแบบจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกเพื่อหาจำนวนใบกวาด และรูปร่างของใบกวาดที่เหมาะสม และ การทดสอบเครื่องต้นแบบ เพื่อหา ความสามารถในการทำงาน, อัตราการโรยปุ๋ยคอก และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการทำงานของเครื่อง

ผลการทดสอบแบบจำลองพบว่า ปุ๋ยคอกสามารถเคลื่อนที่ได้ดีที่ใบกวาดแบบ 6 ใบ ชนิดรูปทรงตัวซี ส่วนผลการทดสอบเครื่องต้นแบบพบว่า ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 1,2 และ 3 ต่ำ มีความสามารถในการทำงาน 0.66, 0.62 และ 0.52 ไร่ต่อชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการโรยปุ๋ยคอกที่ 622, 534 และ 487 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3.46, 3.36 และ 3.2 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องโรยปุ๋ยคอก จอบหมุน การเตรียมดินในนาข้าว

Abstract

This research is the design, build and develop of a prototype of manure applicator with rotary and regulator to use on soil preparation of paddy field. The main objective is to reduce the number of passes on the field in order to prevent soil compaction. In this study manure at 15% moistures were used. Parameter in this study were number of plates (4, 6 and 8) and plate shape (straight, C-shaped and L-shaped). The study was divided into two steps. Firstly, a model was built which holds a regulator and tests it for properly number of plates and plate shape. Secondly, to tests the prototype for field capacity, rate of fertilizer spread and fuel consumption.

The results from the model test shown that the C-shaped and 6 plate regulator is the best type and the results from the field test shown that the field capacity were 0.66, 0.62 and 0.52 rai per hour at tractor speed 1, 2 and 3 –low respectively. While, the tractor could spread 622, 534 and 487 kilograms of fertilizer per rai. The fuel consumption were 3.46, 3.36 and 3.20 litres per rai respectively.

Keywords: manure applicator, Rotary, Paddy Field Tillage

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเปลือกนาปีได้ 22.177 ล้านตัน ข้าวเปลือกนาปรังได้ 8.863 ล้านตัน มีการส่งออกข้าวสาร 3.992 ล้านตัน ซึ่งปัจจุบันทั่วโลกมีปริมาณความต้องการข้าวเพื่อการบริโภคประมาณ 417.7 ล้านตันต่อปี ถือเป็นปริมาณที่สูงมาก เมื่อเทียบกับสินค้าเกษตรชนิดอื่นๆ หากประเทศไทยสามารถเพิ่มปริมาณการส่งออกข้าวได้มากขึ้น ด้วยการที่สามารถเพิ่มผลผลิตต่อไร่ และการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตต่อไร่ได้โดยที่ยังคงมีพื้นที่การผลิตเท่าเดิม จะส่งผลให้ข้าวเป็นสินค้าเกษตรที่ช่วยเพิ่มเงินรายได้ให้กับประเทศไทยสูงขึ้นจากเดิม โดยปกติแล้วในกระบวนการผลิตข้าว ที่

นอกจากเกษตรกรต้องคำนึงถึง พันธุ์ข้าวที่จะนำมาปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยวแล้ว การเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกข้าว ก็มีความสำคัญมากเช่นกัน [10], [12], [13]

เนื่องจากในปัจจุบัน เครื่องจักรกลทางการเกษตรได้เข้ามามีบทบาทในการทำเกษตรกรรมของเกษตรกรไทยอย่างแพร่หลายกว่าในอดีตมาก ยิ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาการใช้รถแทรกเตอร์สี่ล้อขนาดกลางมาช่วยในการเตรียมดินสำหรับการทำนาในเขตพื้นที่ชลประทานได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะมีส่วนช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน ลดความเหนื่อยยากให้กับเกษตรกรเป็นอย่างยิ่ง ทำให้เกษตรกรสามารถเตรียมดินได้ทันต่อความต้องการในฤดูกาลเพาะปลูก และที่สำคัญ คือ สามารถทดแทนแรงงานในภาคการเกษตรที่ส่วนหนึ่งได้ย้ายเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมและบริการ

จอบหมุน เป็นอุปกรณ์เตรียมดินติดรถแทรกเตอร์ที่ใช้เตรียมดินขั้นที่สอง ที่ได้รับความนิยมมากทั้งในและต่างประเทศ เพราะสามารถเตรียมดินได้ดี รวดเร็ว ไม่ต้องมีเครื่องมืออื่นที่เกี่ยวกับการเตรียมดินมาทำงานอีกก็ได้ และคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่เด่นและสำคัญ คือ ช่วยลดการติดหล่มของรถแทรกเตอร์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ผาล เพราะไม่ต้องอาศัยแรงฉุดลาก แต่สามารถขับตรงจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ หมุนขับใบมีดที่ยึดติดกับแกนหมุนให้สับดินย่อยขี้ไถให้แตกกระจายเป็นก้อนเล็กๆ และหมุนคลุกเคล้าเศษหญ้า ฟาง ให้ผสมเข้ากับดิน [1], [5], [6]

เกษตรกรส่วนใหญ่(ชาวนา)จะมีการเลี้ยงสัตว์จำพวก โค กระบือ เป็นอาชีพเสริมอยู่แล้ว และผลพลอยได้อย่างหนึ่งจากการเลี้ยงโค กระบือ ก็คือ มูลโค มูลกระบือ โดยที่ต่อไปนี้จะเรียกว่า ปุ๋ยคอก(ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยที่ได้จากมูลและสิ่งขับถ่ายของสัตว์) โดยที่ปุ๋ยคอกจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และมีคุณสมบัติในการปรับสภาพของดิน ช่วยปรับปรุงดินให้โปร่ง ร่วนซุย ทำให้ง่ายต่อการเตรียมดิน การตั้งตัวของต้นกล้าที่เร็วขึ้น ทำให้มีโอกาสรอดได้มาก ในนาข้าวที่เป็นดินทราย เช่น ดินในภาคอีสาน การใช้ปุ๋ยคอกจะช่วยให้การดำนาง่ายขึ้น ข้าวตั้งตัวได้ดี และเจริญเติบโตงอกงามเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากดินทรายมีอินทรียวัตถุต่ำมาก การใส่ปุ๋ยคอกลงไปจะมีส่วนช่วยทำให้ดินทรายสามารถอุ้มน้ำและปุ๋ยได้ดีมากขึ้น การปักดำกล้าทำได้ง่ายขึ้น เพราะหลังจากการทำเทือกนาแล้วดินจะไม่อัดกันแน่น ปกติชาวนานิยมนำปุ๋ยคอกไปใส่แปลงนาในช่วงฤดูแล้ง โดยการใช้แรงงานคนในการขนย้ายปุ๋ยคอกใส่รถบรรทุก ไปในแปลงนาแล้วใช้แรงงานคนในการกระจายปุ๋ยคอกลงในแปลงนาอีกครั้ง เหตุผลที่เกษตรกรนิยมใส่ปุ๋ยคอกในฤดูแล้ง เพราะว่าเป็นช่วงที่ดินในแปลงนาแห้งสนิท รถบรรทุกสามารถลงไปวิ่งได้ เมื่อชาวนากระจายปุ๋ยคอกลงในแปลงนาเป็นกองๆ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 2 อาทิตย์ จึงจะทำการไถกลบ และการที่ไม่ไถกลบทันทีจะมีผลโดยตรงกับคุณภาพของปุ๋ยคอก คือ ทำให้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยคอกที่มีอยู่น้อยอยู่แล้วเกิดการสลายตัวไปในอากาศได้ จากข้อมูลจะพบว่า เกษตรกรจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายหลายครั้งในส่วนของแรงงานและยานพาหนะที่ใช้ในการขนย้ายปุ๋ยคอก และอีกประการที่สำคัญ คือ การนำยานพาหนะที่มีน้ำหนักมากลงไปเหยียบในแปลงนา มีผลต่อการอัดตัวของหน้าดิน ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียโดยตรงกับเกษตรกรในการเตรียมดินในฤดูกาลเพาะปลูกครั้งต่อไปที่จะทำได้ยากขึ้น เพราะการอัดแน่นของหน้าดิน และจากสภาพของดิน ฟ้า อากาศ ในปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาส่งผลให้มีฤดูกาลที่ไม่ชัดเจน จึงทำให้การขนย้ายปุ๋ยคอกในปริมาณมากๆ ลงไปในแปลงนาของเกษตรกรทำได้ยากมากขึ้น เพราะดินในแปลงนาอาจไม่แห้งสนิท [2], [11]

และจากการศึกษาการออกแบบกระบะ ชุดโซ่ลำเลียง และใบพัดของเครื่องหว่านปุ๋ยคอกชนิดแกลบผสมมูลไก่แบบพ่วงรถแทรกเตอร์ 4 ล้อขนาด 75 แรงม้า ได้ออกแบบโครงสร้างของกระบะใส่ปุ๋ยขนาด 144*300*144 เซนติเมตร โดยมีความชันของกระบะ 50 องศาซึ่งเป็นความลาดชันที่ให้ปุ๋ยเคลื่อนที่ลงระบบลำเลียงได้สะดวก และสามารถบรรจุปุ๋ยได้ 6 ลูกบาศก์เมตร ระบบลำเลียงปุ๋ยเป็นแบบโซ่ลำเลียง 1 คู่ (2 เส้น) ขนาดโซ่ 8 มม ยาว 4.5 ซม กว้าง 3 ซม โดยโซ่ 2 เส้นวางห่างกัน 70 ซม และมีเหล็กทรงสี่เหลี่ยมตันยึดติดกับข้อโซ่เป็นช่วงห่างกัน 25 ซม หมุนลำเลียงเคลื่อนที่ไปบนแผ่นเหล็กพื้นกระบะ และลำเลียงปุ๋ยไปสู่ใบพัดหว่านปุ๋ย ซึ่งจานที่มีค่าการกระจายสูงสุดจะเป็นแบบจานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 ซม และมีใบพัดแบบครีบตรงขนาด 0.3*15*5 ซม จำนวน 4 ครีบ วางทำมุมกัน 90 องศา ซึ่งมีแนวโน้มการหว่านปุ๋ยได้ช่วงกว้างมากและมีความสม่ำเสมอของปุ๋ยที่ดีกว่า การขับใบพัดจะต่อเพลาจากเพลาอำนวยกำลัง โดยใช้มูเลย์และสายพาน ซึ่งมีอัตราทดไปยังใบพัด 1:4.5 ทำให้ใบพัดมีความเร็วในการหว่านคงที่โดยที่ใบพัดที่ความเร็วรอบ 933 รอบต่อนาที จะให้ช่วงกว้างของการหว่านมากที่สุด และอัตราการป้อนปุ๋ยของโซ่ลำเลียงมีผลต่อความหนาแน่นของปุ๋ยและลักษณะการกระจายของปุ๋ย ซึ่งเป็นส่วนที่ควรจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการเพื่อให้เหมาะสมต่อพื้นที่[7], [8], 9]

ผู้วิจัยมองเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกร จึงได้ทำการศึกษาออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวขึ้น เพื่อที่จะช่วยลดภาระของเกษตรกรและช่วยให้เกษตรกรสามารถทำการผสมปุ๋ยคอกกับดินในแปลงนาไปได้ในครั้งเดียวกันโดยทันทีด้วยการทำงานของจอบหมุน ซึ่งถือเป็นการทำงานที่รวมทั้งสองขั้นตอนมาไว้ในการทำงานเพียงครั้งเดียว ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปัญหาการอัดตัวของหน้าดิน ลดต้นทุนในการผลิต ลดแรงงานในภาคการเกษตร โดยที่การออกแบบเครื่องโรยปุ๋ยคอกนี้จะอาศัยต้นกำลังในการขับเคลื่อนตัวขับปุ๋ยคอกจากเพลาของจอบหมุน โดยเน้นความสำคัญของการออกแบบไปที่ง่ายต่อการใช้งานและการซ่อมบำรุงของเกษตรกร อีกทั้งสะดวกกับการนำไปต่อพ่วงกับจอบหมุนที่เกษตรกรมีใช้อยู่แล้ว(มีวางขายทั่วไปในท้องตลาด)

วัตถุประสงค์

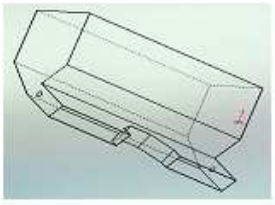
1. เพื่อทดแทนการขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตร
2. เพื่อศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกสำหรับการเตรียมดินปลูกข้าว โดยให้รถแทรกเตอร์ส่งกำลังผ่านเพลาอำนวยกำลังให้กับจอบหมุน แล้วส่งต่อกำลังให้กับเครื่องโรยปุ๋ยคอก
3. เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อ

อุปกรณ์และวิธีการ

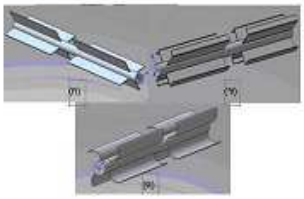
สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน หลักดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ของวิธีการเตรียมดินปลูกข้าว เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ในการเตรียมดิน และปุ๋ยคอก ปุ๋ยคอกที่นำมาศึกษาเป็นปุ๋ยขี้วัวที่ได้จากเกษตรกรในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการแบ่งปุ๋ยขี้วัวออกเป็นสี่ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปทำการทดลองหาค่าความชื้น ส่วนที่สองนำไปทดลองหาค่าสัมประสิทธิความเสียดทานกับภาชนะที่จะทำถังบรรจุปุ๋ยคอก ส่วนที่สามนำไปทดลองหาขนาดและรูปร่างของปุ๋ยคอกด้วยตะแกรงคัดขนาด และส่วนที่สี่นำไปทดลองกับแบบจำลองของเครื่องฯ เพื่อหาจำนวนและขนิดของใบกวาดปุ๋ยคอกที่เหมาะสม [3], [4]

2. การออกแบบ งานวิจัยในครั้งนี้ทำการออกแบบภายใต้แนวคิดที่ต้องการลดภาระให้กับเกษตรกร ดังนั้นจึงต้องเป็นชิ้นงานที่ง่ายทั้งในแง่ของการทำงานและซ่อมบำรุง การต่อพ่วงที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน จากข้อมูลเบื้องต้นของรถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น L4508 ขนาด 46 แรงม้า ที่ปลายแขนยกของรถแทรกเตอร์สามารถยกน้ำหนักได้สูงสุด 1,300 กิโลกรัม จอบหมุนรุ่น RX180F ขนาด 1,930*850*1,060 มิลลิเมตร น้ำหนัก 345 กิโลกรัม ความกว้างของงานที่ทำได้ 1,750 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 232 รอบต่อนาที ปริมาณปุ๋ยคอกที่ต้องการ 600 กิโลกรัมต่อไร่ โดยการออกแบบแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนของถังบรรจุปุ๋ยคอก ส่วนของใบกวาดปุ๋ยคอก และส่วนของระบบส่งกำลัง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบได้ดังแสดงในภาพที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 แสดงแบบของถังบรรจุปุ๋ยคอก



ภาพที่ 2 แสดงแบบใบกวาดปุ๋ยคอกชนิด (ก) รูปทรงตรง (ข)รูปทรงตัวแอล (ค)รูปทรงตัวซี

ภาพที่ 3 แสดงระบบส่งกำลังของเครื่องฯ

3. การวิเคราะห์โครงสร้าง ของแบบเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว ด้วยโปรแกรม COSMOSXpress เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับแก้สำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบต่อไป วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ที่กำหนดให้แรงที่มากระทำกับโครงสร้างเป็นแบบคงที่ เพราะในสภาพการณ์ทำงานจริงแรงที่มากระทำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนการกำหนดขนาดของ Element ในการคำนวณครั้งนี้เป็นการกำหนดเองโดยอัตโนมัติของโปรแกรมที่ใช้

4. สร้างและทดสอบแบบจำลองของเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว ด้วยอัตราส่วนชิ้นงานจริงต่อแบบจำลอง 1:3 ทั้งนี้ในส่วนของถังบรรจุปุ๋ยทำด้วยแผ่นอะคลิลิคหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถมองเห็นการทำงานของใบกวาดปุ๋ยและการเคลื่อนตัวของปุ๋ยคอก การทดสอบโดยการติดตั้งส่วนประกอบทั้งสามส่วนเรียบร้อยแล้ว โดยที่ในส่วนที่หนึ่งเลือกเอาใบกวาดปุ๋ยคอกชนิดรูปทรงตัวตรง จำนวน 4 ใบกวาด มาทำการทดลอง โดยเดินเครื่องเพื่อปรับตั้งความเร็วรอบไปที่ 232 รอบต่อนาที ใส่ปุ๋ยคอกที่เตรียม ไว้ลงในถังบรรจุปุ๋ยคอก ดึงตัวเปิดปุ๋ยคอกออกจับเวลาที่ปุ๋ยคอกเริ่มเคลื่อนที่ออกจากถังบรรจุปุ๋ยคอกจนปุ๋ยคอกหมดถัง พร้อมทั้งสังเกตการณ์เคลื่อนตัวของปุ๋ยคอก ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ แล้วจึงเปลี่ยนใบกวาดปุ๋ยคอกเป็นจำนวน 6 ใบกวาด และ 8 ใบกวาด ตามลำดับ เพื่อหาจำนวนของใบกวาดปุ๋ยคอกที่สามารถทำงานได้ดีที่สุด จากนั้นจึงเปลี่ยนไปทดลองกับใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปทรงตัวแอล และรูปทรงตัวซี ตามลำดับ

5. สร้างและทดสอบเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว หลังจากสร้างเครื่องฯ แล้วเสร็จจึงได้ดำเนินการทดสอบการใช้งานของเครื่องฯ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง คือ 5.1 ทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยคอกโดยการใช้วัสดุปูรองบนแปลงทดสอบ โดยทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่เล็กๆ ขนาดเท่ากัน จากนั้นเดินเครื่องที่ความเร็ว 3 ระดับ ทั่วทั้ง

แปลงทดสอบเพื่อบันทึกผลการกระจายตัว 5.2 ทดสอบการทำงานของเครื่องฯ ในขณะที่บรรจุปุ๋ยคอกโดยการเดินเครื่องที่ความเร็ว 3 ระดับ คือ เกียร์ 1 Low เกียร์ 2 Low และเกียร์ 3 Low โดยทำการทดลองระดับละ 3 ซ้ำ ในแปลงทดลอง จับเวลาเพื่อบันทึกปริมาณปุ๋ยคอกที่เครื่องสามารถจ่ายได้ต่อพื้นที่ และบันทึกอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถแทรกเตอร์จากสภาพการทำงานในแปลงทดสอบ 5.3 ทดสอบความสามารถในการยุดลากของรถแทรกเตอร์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องโรยปุ๋ยคอก

ภาพที่ 4 แสดงการทดสอบในชุดจำลองเครื่องฯ

ภาพที่ 5 แสดงการทดลองในแปลงเกษตรกร

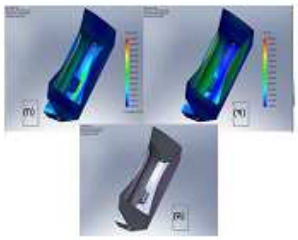
ภาพที่ 6 แสดงการทดลองในแปลงปลูกภาคสนาม

ผลการวิจัย

1) ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยคอก

จากการนำปุ๋ยคอก 100 กรัม ที่ความชื้น 15% มาทดลองร่อนในตะแกรงเพื่อหาลักษณะทางกายภาพและขนาดของปุ๋ยคอกนั้น พบว่า ปุ๋ยคอกจะมีลักษณะโดยทั่วไปเป็นเส้นเล็ก สั้น คล้ายเส้นใยของหญ้า และเป็นฝุ่นผง ดังแสดงในภาพที่ 7 ส่วนขนาดของปุ๋ยคอกจะสามารถแยกออกได้เป็น 6 ขนาด ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะพบว่า 70% ของปุ๋ยคอกสามารถผ่านตะแกรงขนาด 10 mesh ได้ ส่วน 30% ของปุ๋ยคอกที่ไม่สามารถผ่านตะแกรง 10 mesh ได้ เพราะเป็นปุ๋ยคอกที่ยังคงมีการจับตัวกันเป็นก้อนอยู่นั่นเอง และจากการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของปุ๋ยคอกกับวัสดุที่ทำถังบรรจุปุ๋ยคอก พบว่า ตำแหน่งแรกของการเคลื่อนที่ของปุ๋ยคอกเริ่มเมื่อแผ่นวัสดุเอียงทำมุมที่ 20° กับพื้นราบและสามารถเคลื่อนที่ได้ดีจนปุ๋ยคอกไหลลงจนหมดเมื่อแผ่นวัสดุเอียงทำมุมที่ 40° กับพื้นราบ

ภาพที่ 7 แสดงลักษณะของปุ๋ยคอก



ภาพที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยด้วยโปรแกรม COSMOSXpress

ตารางที่ 1 : ปุ๋ยคอก 100 กรัม ที่ถูกคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อน

น้ำหนักปุ๋ยคอก (g)	ขนาดของตะแกรง (Mesh)					
	No.10	No.18	No.35	No.60	No.140	<No.140
	30	17	20	12	8	13

2) การวิเคราะห์โครงสร้าง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของถังบรรจุปุ๋ยคอกด้วยโปรแกรม COSMOSXpress พบว่า โปรแกรมได้ทำการแบ่งชิ้นงานออกเป็น Element ขนาด 26.17 มิลลิเมตร จำนวน 52,344 element รวมเป็น 105,616 node โดยตำแหน่งที่มีการเสียรูปของถังบรรจุปุ๋ยคอกจะเกิดขึ้นที่บริเวณช่วงกลางของปากถังทั้งสองข้าง และปลายใบกวาดมากที่สุด เพราะเป็นตำแหน่งที่มีความแข็งแรงน้อย

และพบว่า ความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณก้นถังบรรจุปุ๋ยคอก เพราะเป็นตำแหน่งที่ต้องรับแรงกระทำจากปุ๋ยคอกสูงสุด ดังภาพที่ 8 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เพิ่มความแข็งแรงของถังบรรจุปุ๋ยคอกด้วยการด้วยการม้วนปลายที่ขอบปากถังบรรจุปุ๋ย

3) การทดสอบแบบจำลองเครื่องฯ

จากการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการทำงานของใบกวาดปุ๋ยคอกในชุดจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอก โดยให้กวาดปุ๋ยคอก 6 กิโลกรัม ที่ความเร็ว 232 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : ความสามารถในการกวาดปุ๋ยของใบกวาดชนิดรูปทรงตัวตรง

จำนวนของใบกวาดปุ๋ย(ใบ)	ความสามารถในการกวาดปุ๋ย (s)			
	การทดลองครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย
4	25.49	19.99	24.33	23.27
6	28.73	23.67	25.09	25.83
8	28.39	26.27	25.01	26.56

จากตารางที่ 2 พบว่า ใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปทรงตัวตรง จำนวน 4 ใบกวาด ใช้เวลาในการกวาดปุ๋ยน้อยที่สุด ตามมาด้วย 6 ใบกวาด และ 8 ใบกวาด ตามลำดับ แต่ในระหว่างการทำงานของใบกวาดทั้ง 3 แบบ จะพบปัญหาในการทำงานคือ ในใบกวาดแบบ 8 ใบกวาด จะเกิดการติดและค้างของปุ๋ยคอกอยู่ระหว่างใบกวาดแต่ละใบ เพราะปุ๋ยคอกบางส่วนยังเกาะกันเป็นก้อน และมีขนาดแตกต่างกัน จึงเกิดปัญหาการหมุนพรีของใบกวาดปุ๋ย ส่วนในใบกวาดปุ๋ยแบบ 4 ใบกวาด ปุ๋ยคอกสามารถเคลื่อนตัวได้ดีมากซึ่งหากต้องนำไปใช้ในเครื่องต้นแบบจะทำให้ต้องปรับอัตราทดรอบของใบกวาดปุ๋ยคอกให้ช้าลงเพื่อให้สามารถจ่ายปุ๋ยลงในพื้นที่ได้ตามกำหนด แต่แบบ 6 ใบกวาด พบว่า สามารถทำงานได้คล่องตัวดี

จากการทดลองในข้างต้นเมื่อพิจารณาถึงปริมาณปุ๋ยคอกที่ต้องจ่ายต่อพื้นที่ พบว่าใบกวาดปุ๋ยคอกแบบ 6 ใบกวาด มีความเหมาะสมกับการทำงาน ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาเฉพาะใบกวาดปุ๋ยแบบ 6 ใบกวาด ทั้ง 3 ชนิด คือ รูปทรงตัวตรง รูปทรงตัวแอล และรูปทรงตัวซี

ตารางที่ 3 : ความสามารถในการกวาดปุ๋ยของใบกวาดแบบ 6 ใบ ชนิดต่างๆ

รูปทรงใบกวาดปุ๋ยชนิด 6 ใบกวาด	ความสามารถในการกวาดปุ๋ย (s)			
	การทดลองครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย
ตัวตรง	28.73	23.67	25.09	25.83
ตัวแอล	28.82	27.38	26.73	27.64
ตัวซี	13.87	13.49	16.66	14.67

จากการทดลองใบกวาดปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด พบว่า ความสามารถของใบกวาดปุ๋ยชนิดรูปทรงตัวซี ใช้เวลาน้อยที่สุดในการกวาดปุ๋ยตามมาด้วย รูปทรงตัวตรง และรูปทรงตัวแอล ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะใบกวาดชนิดรูปทรงตัวซี มีความโค้งตรงกลางใบทำให้สามารถเก็บปุ๋ยในทุกจังหวะของการกวาดได้มากกว่าชนิดรูปทรงตัวตรงและรูปทรงตัวแอล

4) การทดสอบการทำงานของเครื่องโรยปุ๋ยคอกฯ

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว ได้ดำเนินการทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 3 ระดับ คือ ที่เกียร์ 1, 2 และ 3 ต่ำ ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องโรยปุ๋ยคอกฯ ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 3 ระดับ

รายการ	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์		
	เกียร์ 1 ต่ำ	เกียร์ 2 ต่ำ	เกียร์ 3 ต่ำ
พื้นที่ที่ทำการทดสอบ (ตารางเมตร)	600	600	600
ความกว้างของหัวแปลง (เมตร)	15	15	15
ความสามารถในการทำงาน (ไร่ต่อชั่วโมง)	0.66	0.62	0.52
ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอก (กิโลกรัมต่อไร่)	622	534	487
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตรต่อไร่)	3.46	3.36	3.2
ประสิทธิภาพในการทำงาน (%)	83	76	52

ผลการทดสอบในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการทำงานของเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวจะลดลง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 1, 2 และ 3 ต่ำ มีความสามารถในการทำงานที่ 0.66, 0.62 และ 0.52 ไร่ต่อชั่วโมง ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกที่ 622, 534 และ 487 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ ทั้งนี้เพราะว่าการที่รถแทรกเตอร์มีความเร็วเพิ่มมากขึ้นจะมีผลโดยตรงต่อการทำให้ระยะเวลาในการทำงานลดน้อยลง ดังนั้น จึงทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถแทรกเตอร์ลดน้อยลงตามไปด้วย ประสิทธิภาพในการทำงานไม่มีความแตกต่างกันเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นสำหรับเกียร์ 1 และ 2 แต่ในเกียร์ 3 มีความแตกต่าง

อภิปรายผล

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยคอกด้วยตะแกรงแยกขนาด พบว่า ปุ๋ยคอกมีลักษณะเป็นเส้นเล็ก สั้นๆ คล้ายเส้นใยของหญ้า โดยที่ขนาดเล็กสุดสามารถรอดผ่านตะแกรงแยก No. 10 ได้ ขนาดโตสุดคือไม่สามารถร่อนผ่านตระแกรงแยก No.140 ได้ การออกแบบ และพัฒนาเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว นั้นโดยเครื่องที่มีส่วนประกอบหลักคือ โครงสร้างถังบรรจุปุ๋ย ใบกวาดปุ๋ย และใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 46 แรงม้าเป็นต้นกำลัง สามารถใส่ปุ๋ยแล้วตีผสมกับดินได้ในขั้นตอนเดียว กลไกการทำงานของเครื่องทำงานไม่ซับซ้อนมากเกินไป โดยการทดลองในชุดจำลอง พบว่า ใบกวาดปุ๋ยระดับ 6 ใบ ชนิดตัวซี มีความสามารถในการกวาดปุ๋ยคอกที่เหมาะสมกับการทำงานในชุดจำลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกมากที่สุด คือสามารถกวาดปุ๋ยคอกได้โดยไม่เกิดปัญหาติดขัดใดในระหว่างการทดลอง อีกทั้งสามารถกวาดปุ๋ยได้ปริมาณมากกว่าใบกวาดชนิดรูปทรงตัวตรง และรูปทรงตัวแอล ดังผลการทดลอง(รูปทรงตัวตรง รูปทรงตัวแอล รูปทรงตัวซี) 25.83s, 27.64s, 14.67s ตามลำดับ และจากการทดลองเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพวงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวในแปลงทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 1 ต่ำ, 2 ต่ำ และ 3 ต่ำ พบว่า มีความสามารถในการทำงาน 0.66, 0.62 และ 0.52 ไร่ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ความสามารถในการโรยปุ๋ยคอกที่ 622, 534 และ 487 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3.46, 3.36 และ 3.2 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา ออกแบบเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงบนจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าว ตลอดจนการดำเนินการสร้างและทดสอบเครื่องโรยปุ๋ยคอกฯ พบว่าเครื่องโรยปุ๋ยคอกฯ สามารถทำงานได้จริงในแปลงทดสอบดังปรากฏในผลการทดลองข้างต้น แต่ประสิทธิภาพในการทำงานมีความแตกต่างระหว่างเกียร์ 1 ต่ำ , 2 ต่ำ กับเกียร์ 3 ต่ำ ซึ่งเป็นผลจากที่ในขณะทำการทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เกียร์ 3 ต่ำ รถเคลื่อนที่ได้เร็ว แต่ต้องสูญเสียเวลาไปกับการปรับแต่งเครื่องในส่วนของระบบปิดเปิดช่องจ่ายปุ๋ยคอกที่ยังทำงานได้ผลต่ำ

ดังนั้นเครื่องโรยปุ๋ยคอกต่อพ่วงจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินในนาข้าวต้นแบบนี้ ยังต้องมีการออกแบบเพิ่มเติมในส่วนของระบบปิดเปิดช่องจ่ายปุ๋ย ที่ต้องสามารถปรับขนาดช่องปิดเปิดได้แม่นยำกว่าเดิม ควรเพิ่มใบตีกระจายปุ๋ยเพื่อลดการอัดตัวของปุ๋ยคอกก่อนถึงใบกวาดปุ๋ยคอก และสัญญาณแจ้งเตือนปริมาณปุ๋ยก่อนหมดในถังบรรจุ

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. หนังสือ/ตำรา

[1] จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์. 2542. **เครื่องจักรกลเกษตรเพื่อการเตรียมดิน**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

[2] ธงชัย มาลา.2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] บัณฑิต จริโมภาส.2545. **สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร ภาค 1: ทฤษฎี**. นครปฐม : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] ปานมณัส ศิริสมบูรณ์.2538. **สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

[5] พันทิภา อินทรวิชัย.2535. **เครื่องทุ่นแรงฟาร์มภาค 2**. ปทุมธานี : ศูนย์ ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร.

[6] สมชาย ปกรโณดม.2522. **เครื่องจักรกลเกษตร : หลักการเบื้องต้น**. ขอนแก่น : ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์รุ่งเกียรติ.

2. ปริญญานิพนธ์

[7] จักร์กฤช ตั้งรัตนโสภณ และคณะ. 2544. การออกแบบระบบส่งกำลัง และช่วงล่างของเครื่องหว่านปุ๋ยคอก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

[8] ศรีพงศ์ ตั้งรัตนโสภณ และคณะ. 2544. การออกแบบกระบะ ชุดโซ่ลำเลียง และใบพัดของเครื่องหว่านปุ๋ยคอก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

[9] ขญานิน อารมณ์รัตน์ และคณะ. 2544.การทดสอบการกระจายปุ๋ยคอกโดยใช้แบบจำลองเครื่องหว่านปุ๋ยคอก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

3. สื่ออิเลคทรอนิค

[10] กรมการค้าต่างประเทศ. 2554. **การส่งออกข้าว**. www.dft.moc.go.th . มี. ค. 23

[11] มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2554. **รู้เรื่องข้าว**. www.thairice.org . ก.พ. 4

[12] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2554. **ผลผลิตข้าว**. www.thairiceexporters.or.th .มี.ค. 23

[13] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. 2553. **การเพาะปลูกข้าว**. www.ricethailand.go.th/info_riceknowledge.htm. ธ.ค. 25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกันญา โกสุมภ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม พุทธศักราช 2523 ที่บ้านโนนโชงโลง ตำบลดงใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบ้านโนนโชงโลง จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย ที่โรงเรียนพิมายวิทยา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีพุทธศักราช 2547 และได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสบการณ์การทำงาน

- วิศวกรเครื่องกล บริษัทไทยวอเตอร์ไลท์ ซิสเต็ม จำกัด
- วิศวกรประเมินราคา บริษัท ไอ ซี ที (1993) จำกัด
- อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน

จากประสบการณ์ด้านการปฏิบัติงาน การสอนและการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีความเข้าใจทางด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกล โดยมีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ปรากฏดังภาคผนวก จ.