การพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว

นายสุรธวัช บุญหนัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

DEVELOPMENT OF CASSAVA STAKE PLANTING MACHINE

Suratawat Boonnak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process System Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

การพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.กีรติ สุลักษณ์)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)
กรรมการ

(ผศ. ดร.การุญ ฟังสุวรรณรักษ์)
กรรมการ

(ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ.ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุรธวัช บุญหนัก : การพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว
(DEVELOPMENT OF CASSAVA STAKE PLANTING MACHINE)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค, 98 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว สำหรับพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์โดยใช้ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ทำหน้าที่ขับรถแทรกเตอร์ ต้นแบบประกอบด้วย ชุดกลไกการลำเลียงท่อนพันธุ์ ชุดกลไกการปักท่อนพันธุ์ และชุดกลไกการวัดระยะการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ และถูกออกแบบให้ปลูกครั้งละ 1 แถว ระบบทั้งหมดใช้มอเตอร์ไฟฟ้า และกระบอกสูบนิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงานควบคุมระบบด้วย PLC และมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและปั๊มลมอยู่บนเครื่องต้นแบบ

การประเมินผลพบว่า เครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้วมีการทำงานที่เหมาะสมที่สุดที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที (0.72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) สำหรับระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง 90.24 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก 80.57 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์เสียหาย 18.17 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก 22.79 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 240.32 เมกะจูลต่อไร่ ความสามารถในการทำงาน 0.45 ไร่ต่อชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.27 ลิตรต่อไร่ และระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง 85.79 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก 72.96 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์เสียหาย 26.51 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก 18.56 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 197.97 เมกะจูลต่อไร่ ความสามารถในการทำงาน 0.46 ไร่ต่อชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.19 ลิตรต่อไร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

SURATAWAT BOONNAK : DEVELOPMENT OF CASSAVA STAKE PLANTING MACHINE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KRAWEE TREEAMNUK, Ph.D., 98 PP.

CASSAVA/PLANTING MACHINE

The objective of this research aims to develop and evaluate the cassava planting machine for attaching with tractor by using one operator to drive tractor. The prototype was consisted of stake conveyor mechanism, the planting mechanism, and the distance meter unit and designed for single row planting operation. The electric motors and pneumatics cylinders were applied to drive mechanisms in this prototype. The system controlled by PLC and the small generator and air pump were installed on the prototype.

The results found that the proper operation speed of tractor is 20 centimeter per seconds (0.72 kilometers per hour). The operation at planting distance 80 centimeter of testing show that the prototype obtains the planting percentage 90.24%, percent of buried in soil 80.57%, percent of stake damaged 18.17%, percent error of stake distance 22.79%, electric energy consumption 240.32 MJ per Rai, the planting rate 0.45 Rai per hour, and the fuel consumption is 2.27 liter per Rai. The result from planting distance 100 centimeter test show that the planting percentage 85.79%, percent of buried in soil 72.96%, percent of stake damaged 26.51%, percent error of stake distance 18.56%, electric energy consumption 197.97 MJ per Rai, planting rate 0.46 Rai per hour, and the fuel consumption is 2.19 liter per Rai.

School of Mechanical Engineering

Academic year 2020

Student's Signature _____

Advisor's Signature Krawee Treeamnuk

Co-Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค และผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย รวมถึงช่วยตรวจสอบความถูกต้องของรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้เกิดความสมบูรณ์ถูกต้องครบถ้วน

ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.กีรติ สุลักษณ์ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.การุญ ฟังสุวรรณรักษ์ และผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทางวิชาการประจำหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการทุกท่าน ที่เป็นผู้ถ่ายทอดความรู้จนสามารถนำไปปรับใช้กับงานประจำที่ปฏิบัติงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น และขอบคุณครอบครัว บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนการเรียนในครั้งนี้ ทำให้ผู้วิจัยเกิดความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

สุรธวัช บุญหนัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 บทนำ 3
2.2 ประวัติมันสำปะหลัง 3
2.3 ความสำคัญของมันสำปะหลัง 4
2.4 ลักษณะทั่วไปทางพฤกศาสตร์ 5
2.5 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง 9
2.6 วิธีการปลูกมันสำปะหลัง 10
2.6.1 การเก็บรักษาต้นพันธุ์เพื่อเตรียมการปลูก 10
2.6.2 การเตรียมท่อนพันธุ์ก่อนทำการปลูก 11
2.6.3 การเตรียมดินปลูกมันสำปะหลัง 12
2.6.4 วิธีการปลูกมันสำปะหลัง 12
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....15
3.1 บทนำ.....15
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือดำเนินงานวิจัย.....15
3.3 การออกแบบเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว.....15
3.3.1 อุปกรณ์ยกร่องปลูกมันสำปะหลัง.....17
3.3.2 อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง.....18
3.3.3 อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง.....19
3.3.4 ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง.....19
3.3.5 ล้อวัดระยะทาง.....20
3.3.6 ชุดปักท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง.....21
3.3.7 ชุดผลิตลมอัด.....22
3.3.8 ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า.....22
3.3.9 หน่วยประมวลผล.....23
3.3.10 แผนผังการทำงานระบบควบคุม.....23
3.4 การทดสอบการทำงาน.....25
3.4.1 แผนการทดสอบ.....25
3.4.2 แปลงทดสอบ.....25
3.4.3 การเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดสอบ.....25
3.4.4 การทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum Test) 25
3.4.5 การทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่รถแทรกเตอร์.....27
3.4.6 การทดสอบความสามารถในการทำงาน.....27
3.4.7 อัตราการใช้เชื้อเพลิง.....28
3.4.8 อัตราการใช้พลังงาน.....28
3.4.9 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง.....29
3.4.10 เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหาย.....29
3.4.11 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการปลูก.....30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล.....31
4.1 บทนำ.....31
4.2 คุณลักษณะของเครื่องต้นแบบ.....31
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง.....31
4.2.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง.....32
4.2.3 แผนภาพการเคลื่อนที่ (Motion Diagram) 35
4.2.4 ผลการสร้างเครื่องปลูกมันสำปะหลัง 36
4.3 ผลการทดสอบท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยวิธี Ballistic Pendulum.....37
4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง.....43
4.4.1 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง.....43
4.4.2 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก.....45
4.4.3 เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหาย 46
4.4.4 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก 47
4.4.5 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า.....49
4.4.6 ความสามารถในการทำงาน.....51
4.4.7 อัตราการใช้เชื้อเพลิง.....52
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....54
5.1 สรุปผลการวิจัย.....54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....54
รายการอ้างอิง.....56
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองแบบแท่งมวลแกร่ง (Ballistic Pendulum Test).....58
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว.....71
ภาคผนวก ค. Ladder Diagram ควบคุมการทำงานเครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ.....90
ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....92
ประวัติผู้เขียน.....98

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ส่วนประกอบหลักในหัวมันสำปะหลัง 8
2.2 คุณลักษณะของดินที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง 9
4.1 คุณสมบัติเชิงกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง 31
4.2 ผลของการอ่านค่าตำแหน่งของอุปกรณ์ลำเลียงโดยใช้เซ็นเซอร์แสงในการตรวจจับ 32
4.3 แผนภาพการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ 35
4.4 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง 43
4.5 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก 45
4.6 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่เสียหาย 46
4.7 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก 48
4.8 ผลการทดลองอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 50
4.9 ผลการทดลองความสามารถในการทำงาน 51
4.10 ผลการทดลองอัตราการใช้เชื้อเพลิง 52
ก.1 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 10 ส่วนโคนลำต้น 59
ก.2 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 10 ส่วนกลางลำต้น 60
ก.3 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 10 ส่วนปลายลำต้น 61
ก.4 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 15 ส่วนโคนลำต้น 62
ก.5 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 15 ส่วนกลางลำต้น 63
ก.6 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 15 ส่วนปลายลำต้น 64
ก.7 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 20 ส่วนโคนลำต้น 65
ก.8 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 20 ส่วนกลางลำต้น 66
ก.9 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 20 ส่วนปลายลำต้น 67
ก.10 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 25 ส่วนโคนลำต้น 68
ก.11 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 25 ส่วนกลางลำต้น 69
ก.12 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 25 ส่วนปลายลำต้น 70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข.1 การทดลองที่ 1 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1 72
ข.2 การทดลองที่ 2 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2 73
ข.3 การทดลองที่ 3 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3 74
ข.4 การทดลองที่ 4 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1 75
ข.5 การทดลองที่ 5 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2 76
ข.6 การทดลองที่ 6 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3 77
ข.7 การทดลองที่ 7 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1 78
ข.8 การทดลองที่ 8 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2 79
ข.9 การทดลองที่ 9 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3 80
ข.10 การทดลองที่ 10 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1 81
ข.11 การทดลองที่ 11 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2 82
ข.12 การทดลองที่ 12 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3 83
ข.13 การทดลองที่ 13 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1 84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข.14 การทดลองที่ 14 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2 85
ข.15 การทดลองที่ 15 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3 86
ข.16 การทดลองที่ 16 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1 87
ข.17 การทดลองที่ 17 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2 88
ข.18 การทดลองที่ 18 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3 89

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 หน้าตัดขวางของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 11
2.2 (ก) การเตรียมดินให้ลึกด้วยการใช้ผาน 3 ในการพลิกกลบด้านดินและ
กำจัดวัชพืช (ข) การไถพรวนด้วยผาน 7 เพื่อให้ดินร่วนซุย 12
2.3 (ก) การปลูกมันสำปะหลังแบบไม่ยกร่องสำหรับพื้นที่ไม่มีน้ำท่วมขัง
(ข) การปลูกมันสำปะหลังแบบยกร่องสำหรับพื้นที่น้ำขัง 13
3.1 เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว 17
3.2 อุปกรณ์ยกร่องปลูกมันสำปะหลัง 18
3.3 อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 18
3.4 อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 19
3.5 ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 20
3.6 ล้อวัดระยะทาง 21
3.7 ชุดปักท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 21
3.8 ชุดผลิตลมอัด 22
3.9 ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า 22
3.10 หน่วยประมวลผล PLC (Programmable Logic Control) เครื่องปลูกมันสำปะหลัง 23
3.11 แผนผังการทำงานของระบบควบคุม 24
3.12 การทดสอบแบบแท่งมวลแก่ง Ballistic Pendulum 26
3.13 การทดสอบความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 27
3.14 การทดสอบมุมเอียงของท่อนพันธุ์ที่ปักลงดินแล้ว 29
3.15 ท่อนพันธุ์ที่เสียหายจากกลไกปักท่อนพันธุ์จะมีรอยที่ตาบนท่อนพันธุ์ 30
3.16 การวัดระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ด้วยเทปวัด 30
4.1 เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบมุมด้านหลัง 36
4.2 เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบมุมด้านหน้า 36
4.3 รอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่ยื่นออกมาป้องกันตาบนท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 37
4.4 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 25 องศา 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.5 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 25 องศา 38
4.6 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 20 องศา 39
4.7 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 20 องศา 39
4.8 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 15 องศา 40
4.9 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 15 องศา 40
4.10 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 10 องศา 41
4.11 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 10 องศา 41
4.12 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 4 มุมการทดลอง 42
4.13 ระยะยุบตัวของแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 4 มุมการทดลอง 43
4.14 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้งของเครื่องต้นแบบ 44
4.15 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึกของเครื่องต้นแบบ 46
4.16 เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหายของเครื่องต้นแบบ 47
4.17 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูกของเครื่องต้นแบบ 49
4.18 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบ 50
4.19 ความสามารถในการทำงานของเครื่องต้นแบบ 52
4.20 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบ 52
ค.1 Ladder Diagram ควบคุมการทำงานเครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ 91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย เกษตรกรนิยมปลูกในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นพืชที่ใช้น้ำน้อย เติบโตได้ดีในดินแทบทุกประเภท เดิมมีการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังเพียงแค่การแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังและอาหารสัตว์เท่านั้น ทำให้ราคาจำหน่ายผลผลิตค่อนข้างต่ำ ปัจจุบันมันสำปะหลังได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ทั้งการบริโภค อุปโภค และด้านพลังงานประกอบกับการได้รับการส่งเสริมให้เป็นพืชเศรษฐกิจ โดยเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์ด้านการเกษตรของชาติ จึงทำให้มันสำปะหลังมีราคาสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2558 มีพื้นที่เพาะปลูก 9,319,718 ไร่ ผลผลิต 32,357,741 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 3,472 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาเฉลี่ย 2.22 บาทต่อกิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

ขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง เพื่อให้ได้ผลผลิตคุณภาพดี ปริมาณต่อไร่สูง เกษตรกรต้องเตรียมแปลงด้วยการยกร่องทำร่องระบายน้ำ และปักท่อนพันธุ์ที่จุ่มในสารเคมีป้องกันเชื้อราและแมลงแล้ว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) ด้วยวิธีปักในแนวตรงซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการใช้เครื่องจักรกลในระหว่างการดูแลต้นมันสำปะหลัง จากนั้นจึงเป็นการฉีดพ่นสารฟลูโอมีทูรอนเพื่อป้องกันการงอกของวัชพืชโดยไม่เป็นอันตรายต่อมันสำปะหลังที่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนในการปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร ในปัจจุบันยังต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งพบว่ามีปัญหาการขาดแคลนแรงงาน มีค่าใช้จ่ายต่อไร่สูง เกิดความเมื่อยล้าเนื่องจากการปฏิบัติงานในแปลงต่อเนื่องเป็นเวลานาน ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของการเพาะปลูก มีอัตราการทำงานต่ำ ปัญหาคุณภาพการเพาะปลูกด้วยแรงงานคนพบว่า มีการปลูกท่อนพันธุ์กลับหัว ท่อนพันธุ์ล้มหรือเอียง การฝั่งท่อนพันธุ์ตื้นเกินไปไม่สม่ำเสมอ เว้นระยะห่างระหว่างต้นมากหรือน้อยเกินไป เหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้ได้ผลผลิตน้อยและคุณภาพต่ำ เครื่องปลูกมันสำปะหลังที่ส่งเสริมให้ใช้ยังเป็นแบบตัดท่อนแล้วปลูกทันทีไม่สามารถคัดคุณภาพของท่อนพันธุ์ก่อนปลูกและไม่สามารถเตรียมท่อนพันธุ์ด้วยการจุ่มสารเคมีได้ก่อนท่อนพันธุ์จึงมีการงอกรากไม่สม่ำเสมอและให้ผลผลิตน้อย นอกจากนี้ยังอาจเกิดเชื้อราและแมลงกัดกินได้ในภายหลัง ปัจจุบันพบว่ายังไม่มีเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดและเตรียมท่อนพันธุ์ไว้ก่อนแล้ว

จากความสำคัญดังกล่าว การปลูกมันสำปะหลังด้วยเครื่องจักรกลจึงมีความจำเป็นสำหรับการผลิตในปัจจุบัน การพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้วจะช่วยแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรในขั้นตอนการเพาะปลูก เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง เพิ่มอัตราการทำงาน ลดเวลาในขั้นตอนการเพาะปลูกให้ทันฤดูกาลและช่วยลดต้นทุนการเพาะปลูกมันสำปะหลังให้ต่ำลงเพื่อเป็นการส่งเสริมการเพาะปลูกมันสำปะหลังให้เป็นไปตามกรอบยุทธศาสตร์มันสำปะหลังไทยได้ในอีกทางหนึ่งได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการปลูกมันสำปะหลังแบบตัดท่อนพันธุ์แล้ว

1.2.2 ทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ระบบการทำงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.3.2 ต้นแบบเครื่องปลูกมันสำปะหลังเป็นแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ 4 ล้อ

1.3.3 ใช้รถแทรกเตอร์แบบขับเคลื่อน 4 ล้อ ขนาด 40 แรงม้า เป็นต้นกำลังฉุดลาก

1.3.4 กำหนดระยะห่างระหว่างการปักท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ออกเป็น 2 ระยะ คือ 80 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร

1.3.5 ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ กำหนดให้รถแทรกเตอร์ใช้เกียร์ Low 1 โดยมีความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3 ค่า ได้แก่ 1,300 1,600 และ 1,900 รอบต่อนาที

1.3.6 ออกแบบระบบการทำงานให้เหมาะสมกับขนาดของท่อนพันธุ์ตามคำแนะนำของศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทยและกรมวิชาการเกษตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ต้นแบบเครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบตัดท่อนพันธุ์ที่ทำงานได้กึ่งอัตโนมัติ

1.4.2 ทราบสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติ ความสำคัญ ลักษณะทั่วไปทางพฤกศาสตร์ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง วิธีการปลูกมันสำปะหลัง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 ประวัติมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีต้นกำเนิดในอเมริกาใต้แถว ประเทศเปรู Maxico, Guatemala และ Honduras สันนิษฐานว่ามีการปลูกมันสำปะหลังใน Maxico เมื่อ 2,100 ปีมาแล้ว และมีการปลูกในประเทศเปรู เมื่อ 4,000 ปีมาแล้ว จากถิ่นฐานนี้ได้แพร่ขยายไปที่อเมริกาแถบร้อยโดยชาวอินเดีย และขยายไปสู่แหล่งอื่น ๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกสและชาวสเปน มันสำปะหลังเข้ามาสู่เอเชียโดยนำมาเข้ามาในประเทศอินเดีย ศรีลังกา มาเลเซีย อินโดนีเซีย ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 ตามเอกสารที่ค้นได้พบว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาในเอเซีย ดังนี้

พ.ศ. 2283 เริ่มปลูกมันสำปะหลังในมอลิเซียส (Mauritius) โดยนำไปจากชวา

พ.ศ. 2329 เริ่มปลูกในศรีลังกา โดยนำไปจากมอลิเซียส

พ.ศ. 2383 เริ่มปลูกในฟิลิปปินส์ นำมาจากเม็กซิโกโดยชาวสเปนและชาวอินเดียนำมันสำปะหลังมาจากอเมริกาใต้ (รุ่นแรกในศตวรรษที่ 17) เริ่มปลูกมันสำปะหลังในสิงค์โปร์

พ.ศ. 2393 ใช้มันสำปะหลังในอุตสาหกรรมในมาเลเซีย

พ.ศ. 2398 ทำแป้งมันสำปะหลังในสิงค์โปร์

สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใด คาดว่าคงจะเข้ามาในระยะเดียวกับที่เข้าสู่ประเทศศรีลังกา ฟิลิปปินส์ คือราว ๆ พ.ศ. 2329 - 2393 เดิมทีเรียกว่า มันสำโรง มันไม้ และมันสำปะหลัง สรุปว่า คำว่า “สำปะหลัง” คล้ายกับภาษาชาวตะวันตก ที่เรียกมันสำปะหลังว่า “สัมเปอ (Samper)” ดังนั้นคำว่าสำปะหลังอาจจะมาจากคำว่า “สัมเปอ”ของชาวตะวันตก

การปลูกมันสำปะหลังเป็นการค้าในประเทศไทยสรุปว่า มีการปลูกมันสำปะหลังเพื่อใช้ทำแป้งและสาคูในภาคใต้ โดยการปลูกระหว่างแถวของต้นยางพาราก้นมากกว่า 70 ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จังหวัดสงขลามีอุตสาหกรรมทำแป้งและสาคู จำหน่ายไปยังปีนังและสิงค์โปร์ แต่การปลูกมันสำปะหลังภาคใต้จะค่อย ๆ หมดไป เพราะเมื่อต้นยางพาราโตคลุมพื้นที่หมดจึงไม่สามารถ

ปลูกมันสำปะหลังต่อไปได้ ต่อมาได้มีการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออก คือ จังหวัดชลบุรี ระยอง และจังหวัดใกล้เคียง และเนื่องจากความต้องการของตลาดในด้านผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อใช้ในการอุตสาหกรรมและเลี้ยงสัตว์ มีเพิ่มมากขึ้นทำให้พื้นที่ทางภาคตะวันออกผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการจึงมีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังจังหวัดอื่น ๆ โดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือจนถึงปัจจุบัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดของประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

2.3 ความสำคัญของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง มีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อด้วยกันตามภาษต่าง ๆ ที่ได้ยินมากเช่น Cassava, Yuca, Mandioc, Tapioca เป็นต้น เดิมทีคนไทยเรียกว่า มันไม้ มันสำโรง ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่ามันต้นเตี้ย ภาคใต้เรียกมันเทศ (เรียกมันเทศว่ามันฑลา) ปัจจุบันคนส่วนใหญ่เรียก มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดเป็นอาหารที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 7 ของมนุษย์ ปลูกทั่วไปในเขต Tropic มันสำปะหลังเป็นอาหารหลักของมนุษย์กว่า 200 ล้านคน โดยรับประทานโดยตรง เลี้ยงสัตว์ กิจกรรมอุตสาหกรรม 95% ของผลผลิตมันสำปะหลังของโลกใช้เป็นอาหารหลักของมนุษย์ทั้งในรูปอาหารหลัก อาหารรอง และอาหารเสริม โดยบริโภคในรูปหัวสด ประมาณหนึ่งถึงสามเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตมันสำปะหลังของโลก ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลังอีกส่วนหนึ่งใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาหารมากมายหลายชนิดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังและยังมีอุตสาหกรรมหลายชนิดที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ

บราซิลเป็นประเทศที่ประชากรรับประทานมันสำปะหลังเป็นอาหารหลักมากที่สุด เฉลี่ยแล้วรับประทานหัวสดคนละ 124 กิโลกรัมต่อปี อินโดนีเซียรับประทานมันสำปะหลังเป็นอาหารหลักเหมือนกัน ประชากรในชวาและ Madura ได้พลังงานจากมันสำปะหลัง 1,010 แคลอรี่จากทั้งหมด 1,592 แคลอรี่ต่อวัน ในรัฐ Kerela ของอินเดียประชากรบริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารหลัก ประเทศในประชาคมเศรษฐกิจยุโรปใช้มันสำปะหลังเลี้ยงสัตว์มากที่สุดปีละประมาณ 5 - 6 ล้านตัน

สำหรับประเทศไทย มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศมากชนิดหนึ่ง เป็นพืชที่มีเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศในปี 2543 ประมาณ 7.4 ล้านไร่ ทำรายได้ให้แก่เกษตรกรปีละกว่า 12,000 ล้านบาท ประมาณ 97% ของผลผลิตจากมันสำปะหลัง (หัวมันสด) ถูกส่งเข้าโรงงานทำการแปรสภาพเป็นผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากมายหลายชนิด ในจำนวนนี้ประมาณ 70% ของผลผลิตมันสำปะหลังใช้ในการแปรสภาพเป็นอาหารสัตว์ ส่วนที่เหลือใช้ในอุตสาหกรรมอื่น จึงนับว่าผลผลิตจากมันสำปะหลังนอกจากจะทำรายได้ให้เกษตรกรแล้ว

ยังทำรายได้ให้กับประชากรอีกส่วนหนึ่ง ผลสุดท้ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่แปรสภาพแล้วได้ส่งเป็นสินค้าออกทำรายได้ให้กับประเทศคิดเป็นมูลค่าถึง 31,036 ล้านบาทในปี 2560 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546; สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

2.4 ลักษณะทั่วไปทางพฤกษศาสตร์

มันสำปะหลังหรือที่เรียกกันทั่วไปเป็นภาษาอังกฤษว่า “Cassava” เป็นพืชที่จัดได้ว่าเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญที่สุด ภาษาในประเทศบราซิล ปารากวัยและอาร์เจนตินา เรียกว่า “Mandioca” ส่วนประเทศไทยในทวีปอเมริกาส่วนใหญ่ที่ใช้ภาษาสเปนเป็นภาษาพูดจะเรียกว่า “Yuca” ประเทศในแถบทวีปเอเชียเรียกว่า “Tapioca” และประเทศแถบอัฟริกาที่พูดภาษาฝรั่งเศสเรียกว่า “Manioc”

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิด (Center of origin) อยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาโดยเฉพาะในอเมริกาใต้แถบประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา และฮอนดูรัส ซึ่งสันนิษฐานว่ามีการปลูก และขยายไปสู่แหล่งอื่น ๆ ของโลก โดยชาวปอร์ตุเกสและชาวสเปน มันสำปะหลังจากประเทศเม็กซิโก มายังประเทศฟิลิปปินส์ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 และชาวฮอลแลนด์นำมายังอินโดนีเซียจากประเทศสุรินัมประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 18

สำหรับประเทศไทยนั้นไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดว่า มีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใด แต่คาดว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้าสู่ประเทศไทย จากประเทศมาเลเซียเมื่อราวปี 2329 โดยเรียกชื่อต่าง ๆ ในระยะต่อมาว่ามันไม้ มันสำโรง คำว่า “มันสำปะหลัง” นั้น ภาษามาเลเซียและภาษาอินโดนีเซียเรียกว่า Ubikayu แปลว่า พืชที่มีรากขยายใหญ่และไปคล้ายกับภาษาชวาตะวันตกว่า “สัมเปอ (Samper)”

มันสำปะหลังมีชื่อสามัญ Cassava, Manihot, Manioc, Tapiioca, Tapioka อเมริกาใต้เรียกว่า “Yuca” ภาษาโปรตุเกสในบราซิลเรียกว่า “Mandioca” และได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ดังนี้

Genus	:	Manihot
Family	:	Euphorbiaceae
Subdivision	:	Angiospermae
Class	:	Dicotyledonae
Order	:	Geraniales

พืชจำพวกมันสำปะหลังใน Genus Manihot นี้มีอยู่หลาย Species บาง Species ก็สามารถใช้เป็นอาหารได้ พืชเศรษฐกิจอื่นๆ ที่อยู่ใน Family เดียวกับมันสำปะหลัง ได้แก่ ยางพารา และละหุ่ง

สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในปัจจุบันมีชื่อวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องคือ Manihot esculenta Crang. ส่วนชื่อ Manihot utilissima Pohl. ซึ่งก็เป็นชื่อเดิมของมันสำปะหลังแต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้

สมัยก่อนแบ่งมันสำปะหลังเป็นชนิดหวานกับชนิดขม M.esulenta เป็นชนิดหวาน M.palmata หรือ M.dulcis เป็นชนิดขม แต่ปัจจุบันมีแต่ M.esulenta ชนิดหวานหรือขมแตกต่างกันที่กิ่งพันธุ์

1) ต้น

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มและมีอายุอยู่ได้หลายปี (Shrubby perennial crop) ความสูงของต้นมันสำปะหลังแตกต่างกันตามพันธุ์ และสภาพแวดล้อมอาจสูง 1-5 เมตร ทุกส่วนของต้นมันสำปะหลังมียางสีขาว การแตกกิ่งของมันสำปะหลังแตกต่างกันตามพันธุ์ ซึ่งแตกต่างกันมาก ตั้งแต่ไม่แตกกิ่ง (Unbranched) แตกกิ่ง 2 กิ่ง (Dichotomus branching) แตกกิ่ง 3 กิ่ง (Trichotomus branching) แต่ไม่เกิน 4 กิ่ง การแตกกิ่งยังมีจำนวนต่างกัน แตกกิ่งครั้งแรกเรียก Primary branch ครั้งที่ 2 เรียก “Secondary branch” จำนวนครั้งที่แตกกิ่ง อาจมีมากขึ้นไปอีกได้ ถึงครั้งที่ 7 ก็มี ความสูงของการแตกกิ่งแตกต่างกันตามพันธุ์ บางพันธุ์แตก Primary branch ต่ำ เมื่ออายุน้อย บางพันธุ์แตก Primary branch สูงเมื่ออายุมาก การแตกกิ่งทำมุมกับต้นแตกต่างกันตามพันธุ์

ต้นมันสำปะหลังจัดเป็นพวกไม้เนื้ออ่อน ไส้กลางของต้น (Pith) มีขนาดใหญ่เป็นผลให้ต้นเปราะหักง่าย ส่วนของต้นที่แก่ Pith มีขนาดเล็กกว่าส่วนที่ยังอ่อนสีของลำต้นที่แตกต่างกันตามพันธุ์ ส่วนยอดมักเป็นสีเขียว ส่วนที่ต่ำลงมามีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ ส่วนยอดมักเป็นสีเขียว ส่วนที่ต่ำลงมีสีแตกต่างกันออกไป เช่น สีเขียวเงิน สีเทาเงิน สีเหลือง จนถึงสีน้ำตาล ต้นมีเปลือกบางลอกง่ายส่วนของต้นที่แก่มักใบร่วงทำให้เกิดรอยแผลเป็นก้านใบ ที่ติดกับต้นเรียก Leaf scar ระยะห่าง Leaf scar เรียก Storey length ระยะ Storey length แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะเวลาที่พืชเติบโต ในช่วงฤดูฝนการเจริญเติบโตเร็ว Storey length ยาว หรือ Leaf scar ห่างตรงกันข้ามในฤดูแล้งการเจริญเติบโตมีน้อย Storey length สั้น หรือ Leaf scar ถี่เหนือ Leaf scar ขึ้นไปมีตา (Bud) ซึ่งสามารถงอกงามเป็นต้นใหม่ได้ เมื่อนำต้นที่มีตาไปปลูก ขนาดของต้นมีความแตกต่างกันตามพันธุ์ตามสภาพแวดล้อมและตามอายุของต้น โดยเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นประมาณ 3-6 เซนติเมตร

2) ใบ

ใบมันสำปะหลัง เป็นแบบ Simple leaf แผ่นใบ (Lamina) ประกอบด้วยแฉกใบ (Lobe) ลึกแบบ Palmate ตามปกติใบมี 3 - 9 Lobe ใบที่มีอยู่ใกล้ช่อดอกมีขนาดเล็กและมีจำนวน Lobe น้อย มักมีเพียง 1 - 3 Lobe เท่านั้นรูปร่างของ Lobe แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ Lobe มีรูปร่างต่าง ๆ กัน ได้แก่ Ovate, Linear, Oborate, Lanceolate หรือ Pandurate เส้นใย (Midrib) มีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ ก้านใบ (Petioles) ติดอยู่กับฐานของแผ่นใบเป็นรูปตัววี พยุงให้แผ่นใบอยู่ในแนวราบก้านยาวประมาณ 5 - 30 ซม. ยาวกว่าแผ่นใบ ก้านใบมีสีแตกต่างกัน ตั้งแต่ขาวหม่นจนถึงสีแดงก้านใบติดอยู่กับลำต้นโดยเรียงวนรอบลำต้นแบบ 2/5 Spiral phyllotaxy ลักษณะต่าง ๆ ของใบ ได้แก่ จำนวน Lobe ความยาว ความกว้างของ Lobe สีของก้านใบ และสีของใบอ่อน ใบแก่สามารถใช้จำแนกพันธุ์

3) ดอก

มันสำปะหลังเป็นพืชชนิด Monoecious คือ มีทั้งดอกตัวผู้ (Staminate flower) และดอกตัวเมีย (Pistillate flower) ดอกตัวผู้กับดอกตัวเมียอยู่แยกดอกกัน แต่อยู่ในช่อดอก (Inflorescence) เดียวกันช่อดอกเป็นแบบ penicle ช่อดอกเกิดที่จุดตายอดของต้น (Apical branch) พันธุ์ที่ไม่แตกกิ่งจึงไม่มีช่อดอก

ดอกตัวผู้เกิดอยู่ที่ส่วนบนของช่อดอก มีกลีบเลี้ยง (Sepal) 5 อัน ไม่มีกลีบดอก แต่ละดอกมี 10 Stamen จัดเรียงกันเป็น 2 วง วงในมี 5 Stamen และมี Filament สั้น วงนอกมี 5 Stamen และมี Filament ยาวกว่าวงใน Filament แยกไม่ติดกัน ดอกตัวผู้มีก้านดอก (Pedical) ยาว 0.5 - 1.0 เซนติเมตร ดอกตัวผู้บานหลังดอกตัวเมียประมาณ 7 - 10 วัน

ดอกตัวเมียเกิดอยู่ที่ส่วนล่างของช่อดอก โดยทั่วไปมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 อัน ไม่มีกลีบดอก Petal, รังไข่ Covary ประกอบด้วย 3 Caple แต่ละ Caple มี 1 Ovule

4) ผลและเมล็ด

หลังจากเกิดการผสมพันธุ์แล้วไข่ก็จะเจริญเติบโตเป็นผล ผลมันสำปะหลังเป็นแบบ Capsule ผลโตเต็มที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณครึ่งนิ้ว ประกอบด้วย 3 Locule แต่ละ Locule มีเมล็ดอยู่ภายใน 1 เมล็ด แต่ละผลมี 6 Wing ผลจะแก่เต็มที่ประมาณ 2.5 - 3 เดือนหลังจากการผสมพันธุ์ เมื่อผลแก่เต็มที่จะแตกและคัดเมล็ด (Dehiscent) เม็ดสีน้ำตาลลายดำ ขนาดกว้างประมาณ ¾ เซนติเมตร หนา ½ เซนติเมตร และยาว 1 เซนติเมตร ที่เมล็ดสามารถเห็น Caruncle สีขาวชัดเจน

5) ราก หัว

มันสำปะหลังมีระบบรากชนิด Adventitious Root System เกิดจากส่วนต่าง ๆ ของต้น คือ Cambium ตา Leaf scar และส่วนโคนของต้น รากมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากจริงและรากสะสม รากจริงเจริญเติบโตไปทางลึกมากกว่าด้านข้างเป็นรากยึดเหนี่ยวและหาอาหารให้แก่ต้น ส่วนรากสะสมเจริญเติบโตไปทางด้านข้างรอบๆต้นเป็นส่วนมาก เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุ 2 - 3 เดือน หลังจากปลูกรากสะสมก็จะเริ่มขยายขึ้นจากการสะสมแป้งใน Parenchyma cell เรียกรากสะสมนี้ว่า “หัว” ซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหาร หัวมันสำปะหลังส่วนใหญ่เกิดอยู่บริเวณโคนต้นในรัศมีประมาณ 60 เซนติเมตร จำนวนหัว รูปร่าง ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้ง ปริมาณกรดของหัว แตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ มีจำนวนหัวประมาณ 5 - 15 หัวต่อต้น หัวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 - 15 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับอายุและสภาพแวดล้อมด้วย มีแป้งประมาณ 15 - 40 % เมื่อตัดหัวตามขวางจะเห็นว่าประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

(1) ผิวหรือเปลือกชั้นนอก (Periderm) เป็นเยื่อบางๆ อยู่ชั้นนอกสุดเป็น Cork layer ลักษณะเรียบ - ขรุขระ และสีของผิวนอกของหัวมันสำปะหลังแตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์ มีสีขาว น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ และชมพู

(2) เปลือกชั้นใน (Cortical region) อยู่ถัดผิวเข้ามามีความหนา 1 - 3 มิลลิเมตร ส่วนมากมีสีขาว ชมพู อาจมีสีน้ำตาล เปลือกประกอบด้วยชั้นของ Cell ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Scleren chyma, Cortical-parenchyma เรียกรวมกันว่า เปลือก (Peel)

(3) เนื้อหรือส่วนแกนกลาง (Large central pith) เป็นส่วนที่สะสมแป้งเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของหัวทั้งหมด เป็นส่วนที่ใช้เป็นอาหารได้ ประกอบด้วยชั้นของ Cell ชนิดต่าง ๆ คือ Cambium, Parenchyma, Xylem, Vessel เนื้อมีสีขาว ครีม เหลือง หรือชมพู แป้งในหัวมันสำปะหลังสะสมอยู่ในส่วนของ Parenchyma Cell ซึ่งมีอยู่ทั้งในส่วนของเปลือกและเนื้อแต่ในเปลือกมีปริมาณน้อยกว่าในเนื้อ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจากใบและส่วนที่เป็นสีเขียวแล้วจะสะสมในรูปคาร์โบไฮเดรต คือ สะสมแป้งไว้ในราก ความสามารถในการสร้างและสะสมแป้งในรากมีความแตกต่างกันตามพันธุ์มันสำปะหลัง อายุเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว และปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลังแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปหัวมันสำปะหลังมีอายุ 12 เดือน ที่ได้รับปริมาณน้ำฝนเพียงพอและไม่มีฝนตกชุกก่อนเก็บเกี่ยว จะมีส่วนประกอบดังตารางที่ 2.1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักในหัวมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

องค์ประกอบในหัวมัน	**ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งเนื้อมัน)**
แป้ง	71.9 - 85.0
โปรตีน	1.57 - 5.78
เยื่อใย	1.77 - 3.95
เถ้า	1.20 - 2.80
ไขมัน	0.06 - 0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	0.06 - 0.43
ไซยาไนด์ (ppm)	2.85 - 39.27 ppm

จากตารางที่ 2.1 จะพบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ในรากนั้นนอกจากน้ำแล้วคือแป้ง ซึ่งมีถึงร้อยละ 70 - 80 จึงถือว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงาน

กับคนและสัตว์ได้ดีที่สุด โดยปกติหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูงปริมาณน้ำจะน้อยและความหนาแน่นของหัวจะมีสูง ฉะนั้นในการตรวจสอบหรือวัดปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) อย่างเร็วที่นิยมทำกันคือตรวจสอบความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักหัวมันในน้ำเทียบกับน้ำหนักหัวมันในอากาศ ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำน้อยแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมากและมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกันถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำมากแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก นอกจากนี้ในหัวมันอย่างมีสารเคมีที่สำคัญ คือ ไซยาไนด์ (กรดไซยานิคอิสระ) จะมีในปริมาณที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2.85 มิลลิกรัม ถึง 39.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันสำปะหลัง กรดไซยานิคนี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยจะมีอยู่ในหัวมันสดที่เพิ่งเก็บเกี่ยวมา เมื่อถูกความร้อนเช่น ตากแดด เผา ต้ม ปริมาณกรดไซยานิคก็จะแตกตัว จึงทำให้ปริมาณกรดไซยานิคลดลง

2.5 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดีโดยเฉพาะดินที่อยู่ในบริเวณที่ดอน เนื้อหยาบ อินทรียวัตถุน้อยกว่า 2% ความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 5 - 6 เป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง ไม่เป็นดินเค็ม มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยปีละ 1,000 - 1,500 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 25 - 29 องศาเซลเซียส เริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุประมาณ 8 - 18 เดือน พื้นที่ส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของดินที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

คุณลักษณะดิน	เหมาะสม	การปรับปรุง
เนื้อดิน	ดินทราย-ดินร่วน	ทำให้ดินมีความระบายน้ำที่ดีไม่กักขังน้ำนานเกินไป เช่นการยกร่องปลูกช่วยให้ระบายน้ำได้ดีขึ้น
ความลึกของหน้าดิน	มากกว่า 50 ซม.	หากตื้นกว่า 50 เซนติเมตร ควรอยู่ในเขตที่มีฝนมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร หรือใส่อินทรียวัตถุมากกว่า 2 ตันต่อไร่ หรือให้น้ำเสริมบ้างในช่วงฤดูแล้ง
เนื้อดิน	ดินทราย-ดินร่วน	ทำให้ดินมีความระบายน้ำที่ดีไม่กักขังน้ำนานเกินไป เช่นการยกร่องปลูกช่วยให้ระบายน้ำได้ดีขึ้น

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของดินที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง (ต่อ) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

คุณลักษณะดิน	เหมาะสม	การปรับปรุง
ความลึกของหน้าดิน	มากกว่า 50 ซม.	หากตื้นกว่า 50 เซนติเมตร ควรอยู่ในเขตที่มีฝนมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร หรือใส่อินทรียวัตถุมากกว่า 2 ตันต่อไร่ หรือให้น้ำเสริมบ้างในช่วงฤดูแล้ง
ความแน่นของดิน (ก./มล.)		ไถเบิกดาน ผสมผสานกับใช้วัสดุอินทรีย์สลายตัวช้า เช่น แกลบดิน เป็นต้น
- เนื้อดินทราย	น้อยกว่า 1.76	
- เนื้อดินร่วน	น้อยกว่า 1.66	
- เนื้อดินเหนียว	น้อยกว่า 1.46	
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5 - 6	-ต่ำกว่า 4.5 ต้องปรับปรุงด้วยปูนขาว ปูนมาร์ล โดโลไมท์ วัสดุอินทรีย์ -สูงกว่า 7.5 ใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตแทนยูเรียหว่านผงกำมะถัน

ปัจจุบันชนิดของดินในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย และดินทรายปนร่วน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างเป็นดินร่วนปนทราย ดินทรายปนร่วน และดินเหนียว ภาคตะวันออกเป็นดินร่วนปนทราย ดินทรายปนเหนียว และดินทรายปนร่วน ภาคเหนือเป็นดินร่วนปนทราย และดินทรายปนร่วน ภาคกลางเป็นดินทรายปนร่วน ดินร่วนปนทราย และดินร่วนปนเหนียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6 วิธีการปลูกมันสำปะหลัง

2.6.1 การเก็บรักษาต้นพันธุ์เพื่อเตรียมการปลูก

ส่วนที่ใช้เป็นท่อนพันธุ์ในการปลูก คือ ส่วนกลางของลำต้น โดยตัดส่วนปลายและโคนต้นออกก่อนทำการปลูก ซึ่งการเก็บรักษาต้นพันธุ์ก่อนทำการปลูกควรจะเก็บไว้ในที่ร่มและโคนต้นต้องสัมผัสกับพื้นดินภายในระยะเวลาที่จำกัดเนื่องจากความสมบูรณ์ ความแข็งแรง และเปอร์เซ็นต์ความงอกจะลดลง ข้อควรปฏิบัติในการเก็บรักษาและคัดเลือกท่อนพันธุ์ ดังนี้

- ระยะเวลาที่เหมาะสมกับการนำต้นพันธุ์มาขยายพันธุ์ ต้นมันสำปะหลังควรมีอายุ 10 - 12 เดือน ควรเลือกจากแปลงขยายท่อนพันธุ์ที่แยกไว้ต่างหาก

- คัดแยกต้นมันสำปะหลังที่ไม่ได้ขนาด เป็นโรค มีแมลงทำลาย และมีพันธุ์อื่นปนมา ซึ่งต้นมันสำปะหลังที่สมบูรณ์แข็งแรงจะทนทานต่อการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะเพลี้ยแป้ง

- หลังจากตัดต้นมันสำปะหลังที่จะนำมาใช้เป็นต้นพันธุ์ ควรรีบปลูกภายในเวลา 15 - 30 วัน โดยขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์ (กอบเกียรติ และคณะ, 2554)

2.6.2 การเตรียมท่อนพันธุ์ก่อนทำการปลูก

ต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ปลูกควรจะได้อายุจากต้นที่มีอายุตั้งแต่ 10 - 12 เดือน หากต้นพันธุ์มีอายุต่ำกว่า 10 เดือน ให้พิจารณาขนาดของลำต้นขวางควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วขึ้นไป โดยวงรอบของหน้าตัดระหว่างเปลือกและเนื้อจะมีจุดที่เป็นยางจุดนั้นคือ จุดที่ออกราก ในหน้าตัดขวาง 25 เซนติเมตร (รูปที่ 2.1) จำนวนรากที่มีจะมีประมาณ 70 - 80 ราก ซึ่งรากนี้จะสามารถพัฒนาเป็นรากสะสมอาหารประมาณ 20 - 25% หากคิดเป็นจำนวนหัวมันสำปะหลังจะมีจำนวนประมาณ 16 - 20 หัว หากขนาดหน้าตัดขวางของท่อนพันธุ์มีขนาดเล็กกว่า 1 นิ้ว จำนวนรากก็จะมีจำนวนน้อยลงส่งผลให้หัวมันสำปะหลังสดที่ได้ก็น้อยลงไปตามสัดส่วน

ตัดปลายและโคนต้นพันธุ์โดยใช้ส่วนกลางของลำต้น แล้วนำมาตัดเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 20 - 25 เซนติเมตร (ปลูกฤดูฝน 20 เซนติเมตร หากปลูกฤดูแล้ง 25 เซนติเมตร) ในท่อนพันธุ์ต้องมีตาไม่น้อยกว่า 5 ตา และตัดท่อนพันธุ์โดยใช้เลื่อยหรือมีดคมเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อนพันธุ์ช้ำ ซึ่งการใช้ท่อนพันธุ์จากส่วนกลางของต้นพันธุ์จะมีเปอร์เซ็นต์อยู่รอด 69 - 84% แต่หากใช้ส่วนปลายของต้นพันธุ์จะมีเปอร์เซ็นต์อยู่รอด 34.7% เท่านั้น (กอบเกียรติ และคณะ, 2554)

รูปที่ 2.1 ขนาดหน้าตัดขวางของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง (กอบเกียรติ และคณะ, 2554)

ใช้ท่อนพันธุ์ที่สะอาด ปราศจากเพลี้ยแป้ง หากต้นพันธุ์มาจากแหล่งระบาดของตัวเพลี้ยหรือไม่แน่ใจให้แช่ท่อนพันธุ์ด้วยสารป้องกันกำจัดเพลี้ยที่แนะนำ คือ ไทอะมีโทแซม 25%WG

อิมิดาโคลพริด 70%WG ไดโนทีฟูแรน 10%WG โดยแช่ท่อนพันธุ์นาน 5 - 10 นาที เพื่อทำให้ตัวเพลี้ยที่ติดมากับท่อนพันธุ์ตายและสารป้องกันกำจัดแมลงจะแทรกซึมในท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ซึ่งการแช่ท่อนพันธุ์ สามารถกำจัดเพลี้ยแป้งที่ติดมากับท่อนพันธุ์ได้และช่วยป้องกันการระบาดในระยะ 1 เดือนแรกได้

2.6.3 การเตรียมดินปลูกมันสำปะหลัง

การเตรียมดินสำหรับปลูกมันสำปะหลัง ควรเริ่มจากไถให้ลึก 20 - 30 เซนติเมตร ด้วยผาล 3 ดังรูปที่ 2.2 (ก) เพื่อกลบเศษลำต้น เหง้า ใบ และยอดของมันสำปะหลังที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว ไม่ควรเผาหรือเคลื่อนย้ายออกจากพื้นที่ เนื่องจากจะทำธาตุอาหารสูญเสียไป ตากแดดทิ้งไว้ประมาณ 15 วัน เพื่อลดปริมาณวัชพืช เพลี้ยแป้ง และศัตรูพืชอื่นๆที่อยู่ในดินชั้นล่าง จากนั้นใช้ผาล 7 ดังรูปที่ 2.2 (ข) พลิกดินชั้นล่างกลับขึ้นมาเพื่อทำให้ดินร่วนซุยและยังทำให้เอาธาตุอาหารที่ถูกชะล้างลงในดินชั้นล่างกลับขึ้นมาอยู่ชั้นบนให้มันสำปะหลังนำไปใช้ได้อีก (กอบเกียรติ และคณะ, 2554)

รูปที่ 2.2 (ก) การเตรียมดินให้ลึกด้วยการใช้ผาล 3 ในการพลิกกลบด้านดินและกำจัดวัชพืช
(ข) การไถพรวนด้วนผาล 7 เพื่อให้ดินร่วนซุย (กอบเกียรติ และคณะ, 2554)

2.6.4 วิธีการปลูกมันสำปะหลัง

การปลูกมันสำปะหลังมีหลายวิธี เช่น การปลูกแบบวางนอน(ฝัง)ในปัจจุบันปลูกกันน้อยมาก และการปลูกแบบปักซึ่งเป็นวิธีที่นิยมในปัจจุบัน โดยเกษตรกรบางรายที่ทำการยกร่องปลูกจะปลูกบนสันร่องที่ทำการไถไว้แล้ว แต่ถ้าไม่มีการยกร่องจะใช้เชือกทำเครื่องหมายบอกระยะวางเป็นแนวในการปลูก จากการทดลองปลูกแบบยกร่อง ดังรูปที่ 2.3 (ก) และไม่ยกร่อง ดังรูปที่ 2.3 (ข)ในสภาพที่ไม่มีน้ำท่วมขังจะให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน แต่การปลูกโดยวิธีการปักจะให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกแบบวางนอนประมาณ 13.6% เพราะการปลูกแบบวางนอนจะทำให้ต้นงอกช้า และจำนวนต้นงอกจะน้อยกว่า แต่วิธีการปลูกแบบวางนอนจะเหมาะสมกับการปลูก

ในเขตที่แห้งแล้ง เช่น ประเทศเปรู จาไมก้า ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเพียง 300 - 350 มิลลิเมตรต่อปี เท่านั้น ถ้าในพื้นที่ฝนตกชุกการปลูกแบบวางนอนจะทำให้เกิดการเน่าได้ โดยสภาพแวดล้อมในประเทศไทยการปลูกแบบปักจะดีกว่าการปลูกแบบวางนอน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

การเว้นระยะห่างควรเว้นระยะห่างระหว่างต้นพันธุ์ 50 - 100 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 70 - 100 เซนติเมตร โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ระยะในการปลูก 80×80 เซนติเมตร หรือ 100×100 เซนติเมตร เนื่องจากระยะดังกล่าวเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดกับการจัดการหลังจากการปลูกและต้นพันธุ์ได้รับธาตุอาหารได้เต็มที่ หรืออาจยึดตามหลักประชากรต่อไร่ต้องอยู่ระหว่าง 1,600 - 2,500 ต้นต่อไร่ และความลึกของท่อนพันธุ์ที่ปักลงในดินจะขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน ซึ่งอยู่ระหว่าง 5 - 10 เซนติเมตร ซึ่งตาใต้ดินจะงอกเป็นรากถ้าหากต้นบนดินสามารถเจริญเติบโตได้ แต่ถ้าหากต้นบนดินไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตาที่อยู่ใต้ดินจะเป็นต้นแทงออกมาจากใต้ดินเป็นการเพิ่มเปอร์เซ็นต์อยู่รอดอีกทางหนึ่ง หากระยะปักตื้นกว่านี้จะส่งผลกระทบต่อรากอ่อนเมื่อดินดูดซับความร้อนจากผิวดิน ความร้อนจากผิวดินจะส่งถึงรากที่กำลังอ่อนแอ แต่ถ้าหากระยะปักมากกว่า 10 เซนติเมตร เมื่อทำการเก็บเกี่ยวจะต้องใช้แรงในการงัดหัวมันสำปะหลังออกมาจากดินมากและทำได้ยากมีโอกาสที่ทำให้หัวมันสำปะหลังขาดในดินได้ (สรรเสริญ สุนทรทยาภิรมณ์, 2558)

การปลูกในพื้นที่ลาดเท การไถควรไถขวางทิศทางของความลาดเทเพื่อลดการสูญเสียหน้าดิน และหากพื้นที่ปลูกเป็นพื้นที่มีน้ำขังควรทำร่องระบายน้ำและยกร่องปลูก สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีน้ำขัง การเตรียมดินโดยการยกร่อง ไม่ยกร่อง การพูนโคนหลังจากกำจัดวัชพืชครั้งแรกจะให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน เพื่อความประหยัดต้นทุนจึงไม่จำเป็นต้องยกร่อง และไม่ต้องพูนโคนนอกเสียจากพูนโคนเพื่อกำจัดวัชพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

รูปที่ 2.3 (ก) การปลูกมันสำปะหลังแบบไม่ยกร่องสำหรับพื้นที่ไม่มีน้ำท่วมขัง
(ข) การปลูกมันสำปะหลังแบบยกร่องสำหรับพื้นที่มีน้ำขัง
(กอบเกียรติ และคณะ, 2554)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประสาทและคณะ (2555) ได้สร้างเครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ด้วยหลักการล้อปักแบบยางร่องวี โดยใช้รถแทรกเตอร์ต้นกำลังขนาด 37 แรงม้า สำหรับเครื่องแบบ 1 แถว และแทรกเตอร์ขนาด 50 แรงม้า สำหรับเครื่องแบบ 2 แถว พบว่ามีความสามารถในการทำงาน 1 และ 2 ไร่ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ที่ระยะการปลูก 50×120 เซนติเมตร ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ 80 และ 75 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.05 และ 2.55 ลิตรต่อไร่ โดยท่อนพันธุ์ที่ปักได้จะเอียงตามแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ประมาณ 60 - 80 องศา ประสิทธิภาพการปักประมาณ 93 - 95 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการงอกประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

เชิดศักดิ์ ศิริหล้า ปิยะณัฐ สิทธิ และยุทธศักดิ์ พิมสาร (2555) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปลูกมันสำปะหลัง โดยมีส่วนประกอบหลัก 6 ส่วน คือ โครงสร้างของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง ชุดปาดหน้าดิน ชุดยกร่อง ชุดลำเลียงท่อนพันธุ์ ชุดปลูก และชุดส่งกำลัง ผลประเมินพบว่าเครื่องปลูกมันสำปะหลังจะใช้ได้ดีที่ความเร็ว 1.94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความสามารถในการทำงาน 0.226 ไร่ต่อชั่วโมง สามารถปลูกตั้งได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ และการงอกท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยต้นทุนการสร้างเท่ากับ 15,000 บาท เมื่อนำไปรับจ้างปลูกมันสำปะหลังไร่ละ 250 บาท จะได้จุดคุ้มทุนของเครื่องปลูกมันสำปะหลังเท่ากับ 893.6 ไร่ต่อปี โดยที่ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 47 วัน

รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ และมานพ ตันตระบัณฑิตย์ (2553) ได้สร้างเครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 60 -70 แรงม้า จากผลการทดสอบพบว่ามีความสามารถในการทำงาน 0.55 - 0.74 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงาน 70 - 86 เปอร์เซ็นต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 6.0 - 11.6 ลิตรต่อไร่ เปอร์เซ็นต์ของการปลูกตั้ง 17.3 - 38.2 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ของปลูกฝังดิน 34.6 - 39.8 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 8.5 - 15 เปอร์เซ็นต์

ฐิฆัมพรและคณะ (2553) ได้พัฒนาประสิทธิภาพของชุดปลูกมันสำปะหลังให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยมีความลึกในการปลูกสม่ำเสมอประมาณ 9 - 12 เซนติเมตร ท่อนพันธุ์มีลักษณะตั้งตรงใช้ได้กับขนาดท่อนพันธุ์ที่มีความหลากหมายมากขึ้นและใช้ได้กับดินที่มีความแข็งแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ที่ 2,000 รอบต่อนาที และมีแรงปัก 19 นิวตัน ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่เหมาะสม 1.76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม 10 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความเอียง 3 เปอร์เซ็นต์

รังสรรค์ กุฎสำโรง และวินัย กล้าจริง (2558) ศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงและพันธุ์ระยอง 81 ด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติแรงกด (Universal Testing Machine, UTM) ขนาด 50 kN ที่มีมุมคมของใบมีดตัดที่แตกต่างกันคือ 30 45 และ 60 องศา ใช้อัตรา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การเคลื่อนที่ของใบมีดที่ 20, 40, 60 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อหาแรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะสูงสุด ผลการทดสอบพบว่า ค่าแรงตัดเฉือนของใบมีดที่ทำมุม 30 องศา ในทุกอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดจะใช้แรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุดและพลังงานจำเพาะ น้อยกว่าใบมีดทำมุม 45 และ 60 องศา และยังพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดในทุกมุมใบมีดที่ทำการทดสอบจะมีแนวโน้มของค่าแรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุดและพลังงานตัดจำเพาะที่ลดลง ซึ่งแรงตัดเฉือนของกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบข้างต้นที่มีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.01$)

ZhongXue et al. (2559) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังโดยวิธี Compression shear และ Bending ของมันสำปะหลังพันธุ์ 205 จากจีนใต้ ผลการศึกษาพบว่า ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังมีความชื้น 68.86 % ค่าเฉลี่ย Axial compression strength เท่ากับ 1.51 MPa ค่าเฉลี่ย radial compression strength เท่ากับ 0.76 MPa ค่าเฉลี่ย Axial shear strength เท่ากับ 0.32 MPa ค่าเฉลี่ย Radial shear strength เท่ากับ 2.33 MPa และค่า Radial bending strength เท่ากับ 5.94 MPa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยชื่อและขนาด รวมถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ได้แก่ การออกแบบเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว การทดสอบความสามารถในการรับแรงของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยวิธีการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum) และการทดสอบเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง สายพันธุ์ระยอง 72 อายุท่อนพันธุ์ 10 - 12 เดือน

3.2.2 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum)

3.2.3 รถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น L4018 ขนาด 40 แรงม้า

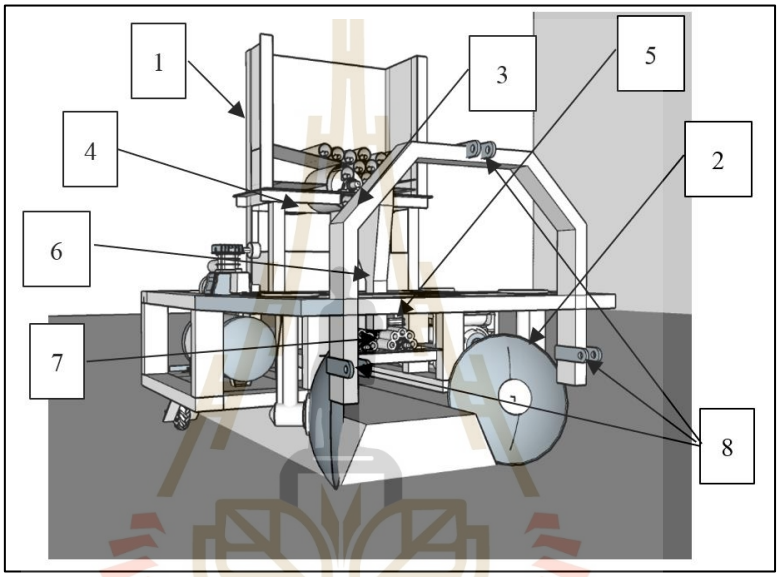
3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการปลูกมันสำปะหลัง ดังนี้

1) ไม้บรรทัด
2) เทปวัด
3) ไม้วัดมุมแบบครึ่งวงกลม

3.3 การออกแบบเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว ดังรูปที่ 3.1 โดยมีหลักการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ คือ จะต้องนำท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้วนำมาบรรจุลงในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ต่อจากนั้นจึงนำท่อพีวีซีที่มีท่อนพันธุ์มาบรรจุลงในฮอปเปอร์ของเครื่องปลูก เมื่อกดปุ่มเริ่มทำงานและเคลื่อนรถแทรกเตอร์ อุปกรณ์ยกร่องจะไถยกดินให้เป็นสันสูงขึ้นและเครื่องปลูกจะสั่งให้มอเตอร์หมุนชุดลำเลียงท่อพีวีซีมาตำแหน่งที่กำหนด หลังจากนั้นกระบอกลมชุดที่ 1 จะดันท่อนพันธุ์มันสำปะหลังให้ลงไปในช่องเก็บเพื่อรอปลูก ซึ่งจะมีกระบอกลมชุดที่ 2 กั้นช่องไว้เพื่อรอให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเก็บไว้ในช่องเก็บ เมื่อกระบอกลมชุดที่ 1 กลับมาตำแหน่งเดิมหลังจากดันท่อนพันธุ์มอเตอร์จะหมุนชุดลำเลียงท่อพีวีซีอีกครั้ง ในระหว่างนี้รถแทรกเตอร์กำลังเคลื่อนที่จะมีการนับระยะการเคลื่อนที่ของตัวรถเพื่อ

นำมาใช้ควบคุมระยะห่างการปักท่อนพันธุ์ระหว่างต้น เมื่อรถเคลื่อนที่ได้ตามระยะที่ตั้งไว้กระบอกลมชุดที่ 2 จะเปิดช่องเก็บเพื่อให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่อยู่ในช่องเก็บหล่นลงมาที่ชุดปักท่อนพันธุ์ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความเร็วการตกให้แก่ท่อนพันธุ์ เพื่อให้สามารถปักได้ตื้นหรือลึกตามที่กำหนด โดยจะขึ้นอยู่ความเร็วรอบในการหมุนของชุดปักท่อนพันธุ์ จากนั้นระบบควบคุมจะทำการรีเซ็ตค่าการเคลื่อนที่และกระบอกลมชุดที่ 2 จะดันกลับไปในตำแหน่งปิดช่องเก็บเพื่อรอรับท่อนพันธุ์มันสำปะหลังท่อนใหม่ที่จะถูกดันออกมาจากท่อพีวีซี

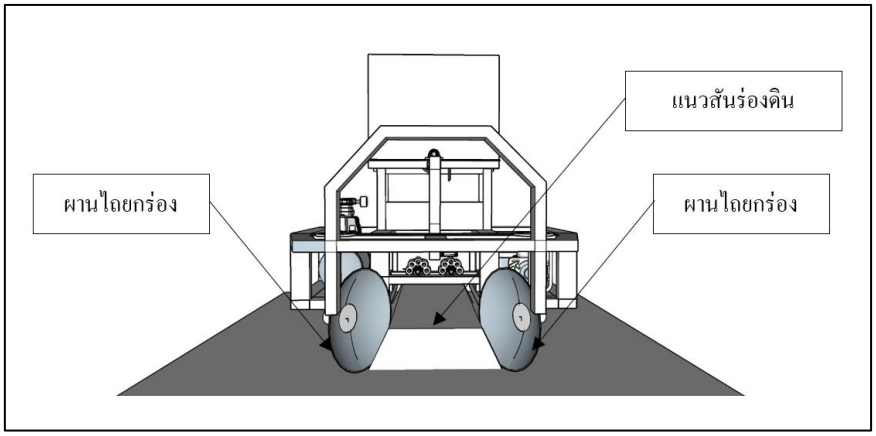


(1) ฮอปเปอร์เครื่องปลูก (2) อุปกรณ์ยกร่องดิน
(3) ชุดลำเลียงท่อพีวีซี (4) กระบอกลมชุดที่ 1
(5) กระบอกลมชุดที่ 2 (6) ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง
(7) ชุดปักท่อนพันธุ์ (8) จุดต่อโยง

รูปที่ 3.1 เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว

3.3.1 อุปกรณ์ยกร่องปลูกมันสำปะหลัง

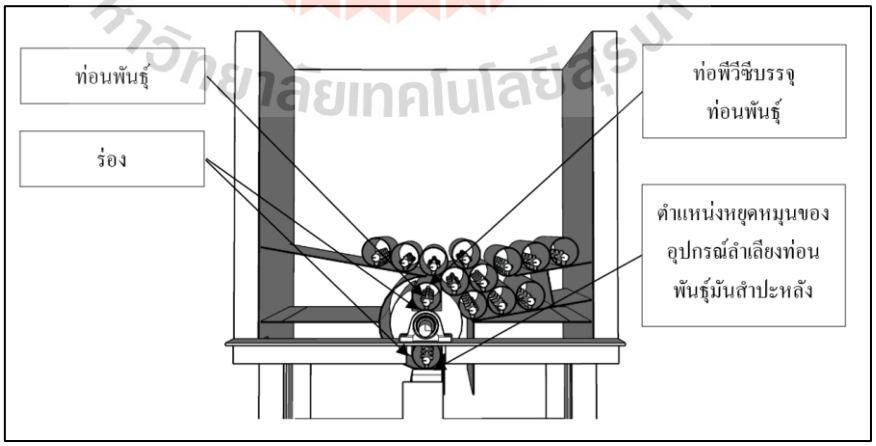
เครื่องปลูกมันสำปะหลังจะติดตั้งอุปกรณ์ยกร่องก่อนทำการปักท่อนพันธุ์ โดยใช้ผาลไถขนาด 22 นิ้ว จำนวน 2 ชิ้น ติดตั้งให้ผานไถทั้งสองหันหน้าเข้ากันโดยมีระยะห่างระหว่างผาลไถ 100 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.2 ในขณะที่รถแทรกเตอร์กำลังเคลื่อนที่ผาลไถทั้งสองจะหมุนพลิกดินเข้าหากัน



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ยกร่องปลูกมันสำปะหลัง

3.3.2 อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

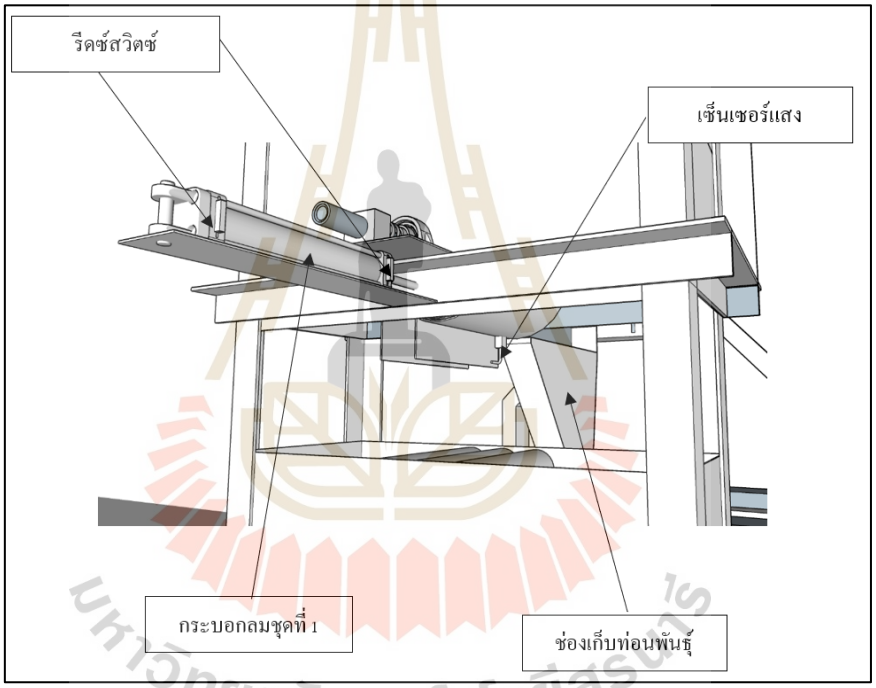
อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจะถูกเซาะร่องไว้จำนวน 2 ร่อง ดังรูปที่ 3.3 เมื่อระบบควบคุมสั่งให้มอเตอร์หมุน อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์จะหมุนท่อพีวีซีที่บรรจุท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไว้ จนกระทั่งท่อพีวีซีเคลื่อนที่จนมาถึงจุดที่กำหนดโดยใช้เซ็นเซอร์แสงเป็นอุปกรณ์อ่านค่า เมื่อท่อพีวีซีเคลื่อนที่มาถึงจุดที่ติดตั้งเซ็นเซอร์แสงไว้จะทำให้ความเข้มข้นของแสงที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่ามากขึ้นกว่าค่าที่ตั้งไว้จึงทำให้เซ็นเซอร์ตรวจพบได้ว่าท่อพีวีซีเคลื่อนที่มาถึงจุดที่กำหนดแล้ว ดังนั้นเซ็นเซอร์แสงจะส่งสัญญาณไปยังหน่วยประมวลผลสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุนอุปกรณ์ลำเลียงท่อพีวีซี



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

3.3.3 อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์มันสำปะหลังใช้กระบอกลมอัดในการดันท่อท่อนพันธุ์ออกจากท่อพีวีซี ดังรูปที่ 3.4 เมื่ออุปกรณ์ลำเลียงท่อพีวีซีเคลื่อนที่มาถึงจุดติดตั้งเซ็นเซอร์แสงระบบควบคุมจะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุนอุปกรณ์ลำเลียง จากนั้นระบบควบคุมจะสั่งให้กระบอกลมชุดที่ 1 ดันท่อนพันธุ์ออกจากท่อพีวีซี ที่ปลายกระบอกลมอัดทำการติดตั้งเซ็นเซอร์รีดซ์สวิตซ์เพื่อใช้อ่านตำแหน่งของกระบอกลมอัด เมื่อกระบอกลมอัดดันท่อนพันธุ์มาถึงจุดปลายเซ็นเซอร์รีดซ์สวิตซ์จะส่งตำแหน่งกระบอกลมอัดกลับไปที่ระบบควบคุม ระบบควบคุมจะสั่งให้กระบอกลมเคลื่อนที่กลับและท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจะตกลงมาในช่องเก็บ

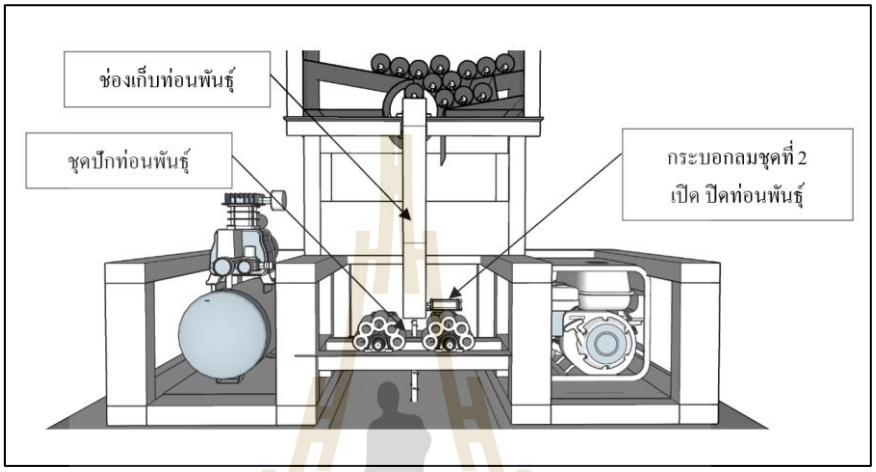


รูปที่ 3.4 อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

3.3.4 ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจะรับท่อนจากอุปกรณ์ลำเลียงท่อพีวีซีและมีการติดตั้งกระบอกลมชุดที่ 2 ไว้ที่ปลายช่องเก็บท่อนพันธุ์ ดังรูปที่ 3.5 เมื่อท่อนพันธุ์มันสำปะหลังตกลงมาที่ช่องเก็บ กระบอกลมอัดจะกั้นท่อนพันธุ์ไม่ให้ตกลงไปในชุดปักท่อนพันธุ์ทันที โดยกระบอกลมอัดจะเปิดให้ท่อนพันธุ์ตกลงไปเมื่อระยะห่างระหว่างต้นได้ตามที่ตั้งไว้ในหน่วยประมวลผล ซึ่งระยะห่างระหว่างต้นจะใช้การนับระยะการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์โดยทำ

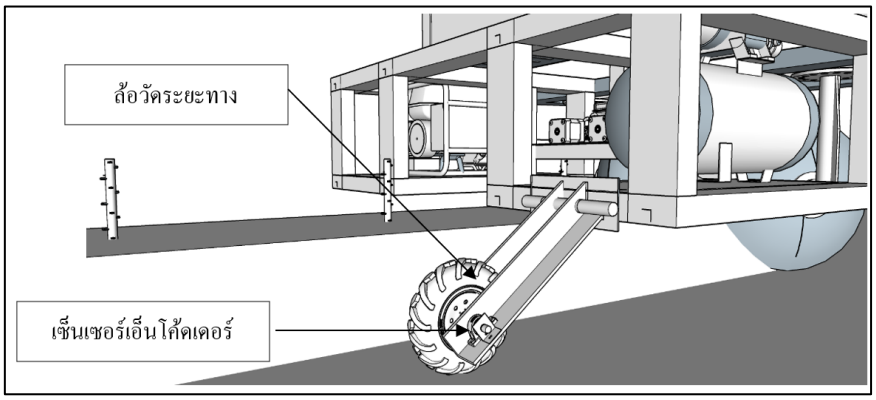
การติดตั้งล้อวัดระยะทางและเซ็นเซอร์เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder Sensor) หลังจากหน่วยประมวลผลนับระยะการเคลื่อนที่ตามค่าที่ตั้งไว้กระบอกลมจะเปิดให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังตกลงมาชุดปักท่อนพันธุ์และหน่วยประมวลผลจะทำการรีเซ็ตค่าระยะการเคลื่อนที่เพื่อเริ่มนับระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ท่อนใหม่



รูปที่ 3.5 ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

3.3.5 ล้อวัดระยะทาง

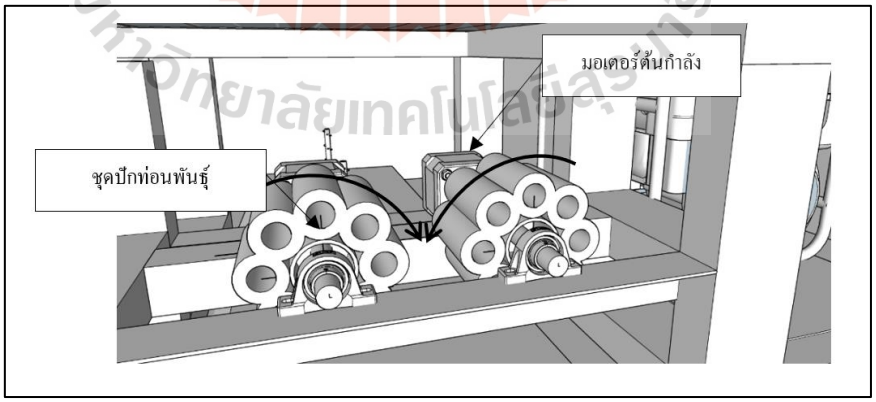
ล้อวัดระยะทางจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder Sensor) ดังรูปที่ 3.6 เมื่อรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเซ็นเซอร์เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder Sensor) จะส่งสัญญาณไปยังหน่วยประมวลผลให้ทำการนับระยะทางที่รถเคลื่อนที่ เมื่อระยะทางที่รถเคลื่อนที่ไปเท่ากับระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ทำการตั้งค่าไว้กระบอกลมที่ปิดท่อนพันธุ์ในช่องเก็บท่อนพันธุ์จะปล่อยท่อนพันธุ์ให้ตกลงมาชุดปักท่อนพันธุ์ โดยล้อวัดระยะทางจะทำการติดตั้งไว้ที่ปลายอุปกรณ์ชุดปลูกมันสำหลังและมีการติดตั้งกลไกให้ล้อสามารถปรับขึ้น-ลงได้ตามระดับพื้นดินที่ไม่สม่ำเสมอเพื่อให้ได้ระยะห่างที่แม่นยำมากที่สุด



รูปที่ 3.6 ล้อวัดระยะทาง

3.3.6 ชุดปีกท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

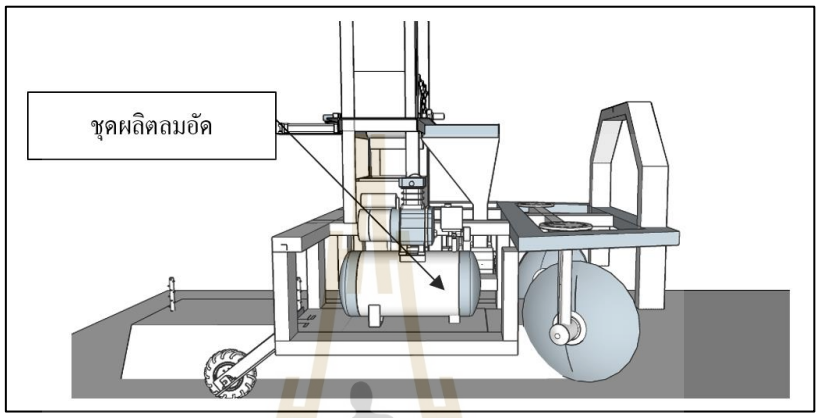
ชุดปีกท่อนพันธุ์มันสำปะหลังผลิตจากยางที่สามารถยืดหยุ่นได้จำนวน 2 ชุด โดยใช้มอเตอร์หมุนให้ชุดปีกท่อนพันธุ์ให้มีทิศทางการหมุนเข้าหากันดังรูปที่ 3.7 โดยมีหลักการการทำงานดังนี้ ชุดปีกท่อนพันธุ์ทำการติดตั้งบอร์ดควบคุมความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ หากต้องการให้ท่อนพันธุ์ปีกลึกให้เพิ่มความเร็วรอบของการหมุนของมอเตอร์ และในทางตรงกันข้ามหากต้องการให้ท่อนพันธุ์ปีกตื้นให้ลดความเร็วรอบของการหมุนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังในการหมุนของชุดปีกท่อนพันธุ์ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงที่สะดวกในการปรับความเร็วรอบและทิศทางการหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 3.7 ชุดปีกท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

3.3.7 ชุดผลิตลมอัด

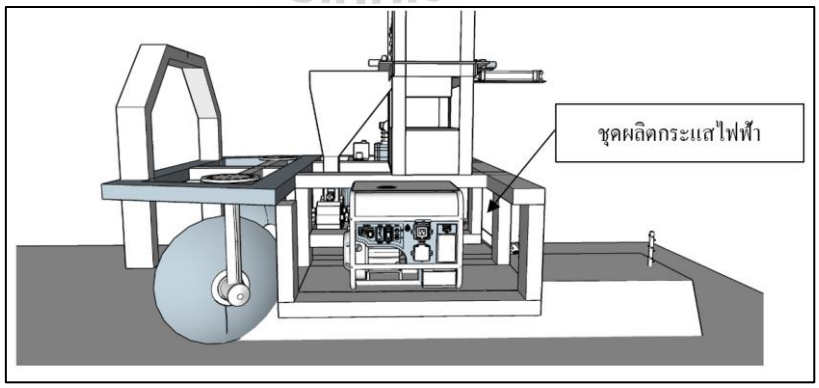
ชุดผลิตลมอัด (Air Compressor) ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด 550 วัตต์ สามารถผลิตลมอัดได้อัตรา 20 ลิตรต่อนาที ที่แรงดัน 8 บาร์ เพื่อใช้ในกลไกการเคลื่อนที่ของกระบอกลมอัดทั้ง 2 ชุด โดยทำการติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชุดผลิตลมอัด

3.3.8 ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า

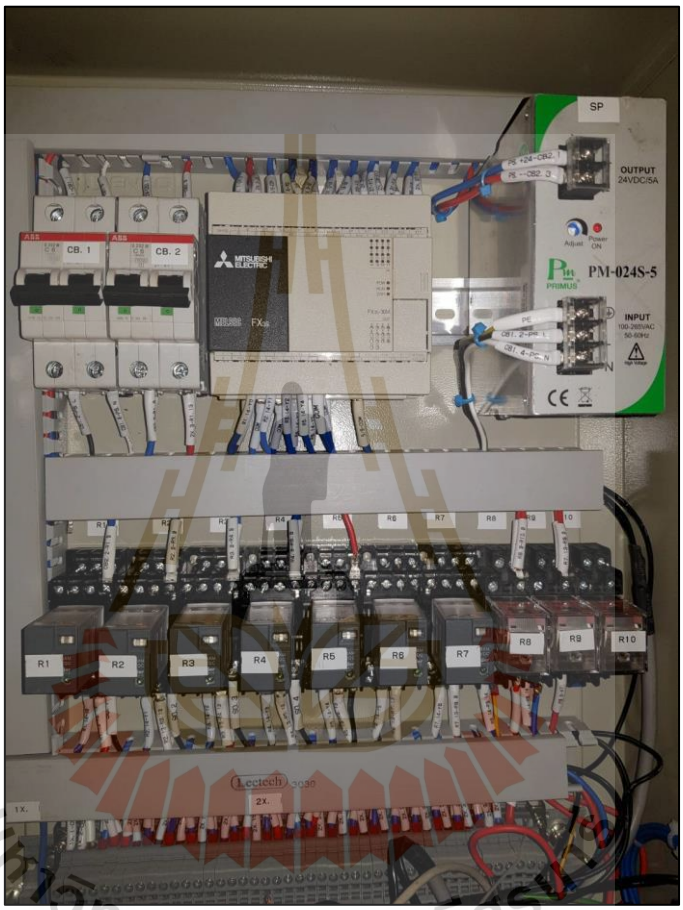
ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า (Power Generator) ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 6.5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2,200 วัตต์ เพื่อรองรับกับภาระใช้งานของชุดผลิตลมอัดและหน่วยประมวลผล ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปจะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการใช้พลังงาน โดยทำการติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า

3.3.9 หน่วยประมวลผล

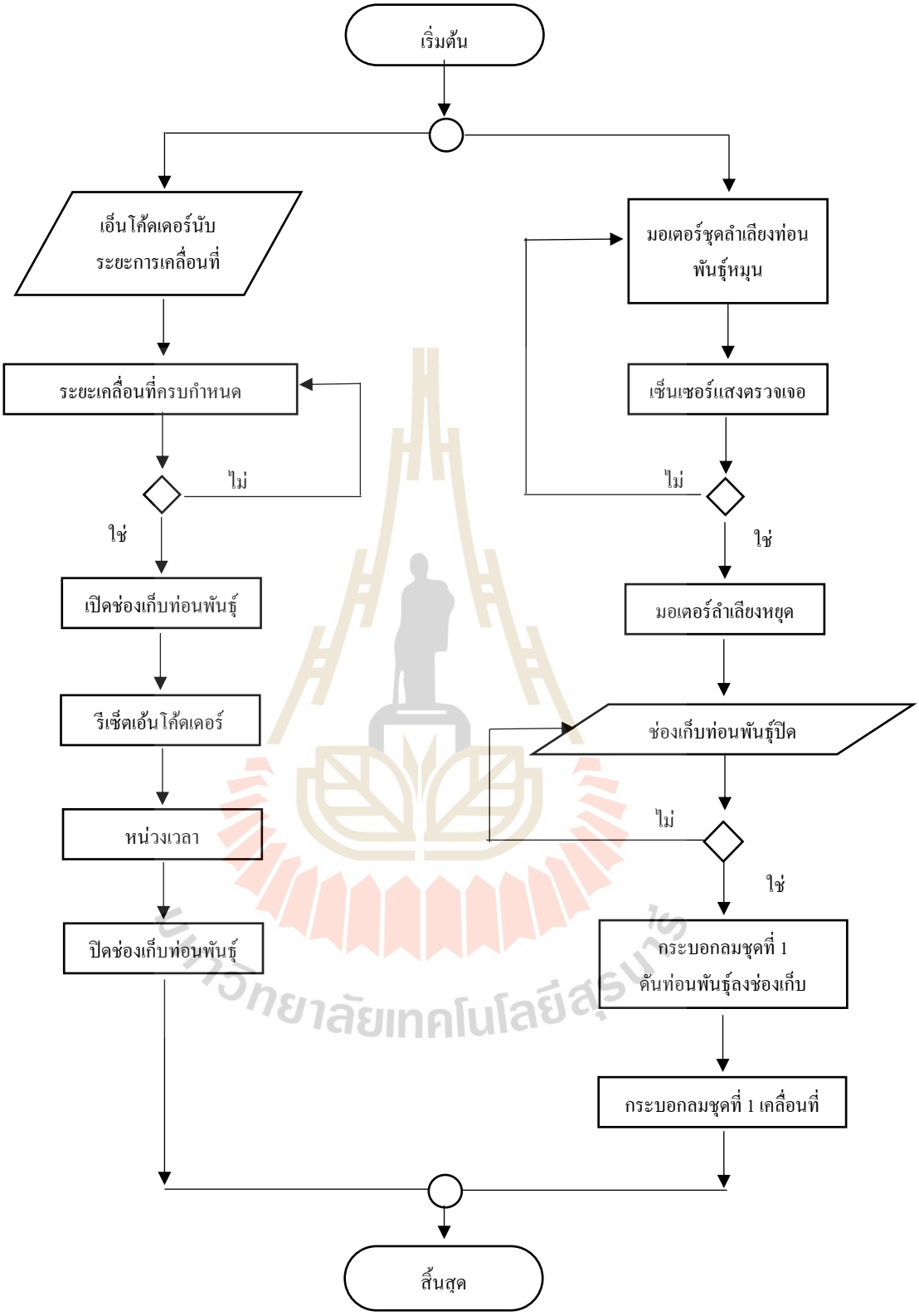
หน่วยประมวลผลใช้ PLC (Programmable Logic Control) ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3-S รับสัญญาณอินพุตจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ แล้วนำมาประมวลผลสั่งอุปกรณ์ทำงานตามที่ได้เขียนโปรแกรมควบคุม



รูปที่ 3.10 หน่วยประมวลผล PLC (Programmable Logic Control) เครื่องปลูกมันสำปะหลัง

3.3.10 แผนผังการทำงานระบบควบคุม

หน่วยประมวลผลของเครื่องปลูกมันสำปะหลังจะใช้ PLC (Programmable Logic Control) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานโดยมีรูปแบบการรับสัญญาณ การประมวลผล และการสั่งงาน ดังแผนผังการทำงาน ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของระบบควบคุม

3.4 การทดสอบการทำงาน

3.4.1 แผนการทดสอบ

การทดลองเพื่อทดสอบผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการทำงานของเครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ มีปัจจัยการทดลอง 2 ปัจจัย ดังนี้

1. ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ 3 ระดับ ได้แก่ เกียร์ Low 1 ที่รอบเครื่องยนต์ทำงาน 1,300 รอบต่อนาที เกียร์ Low 1 ที่รอบเครื่องยนต์ทำงาน 1,600 รอบต่อนาที และเกียร์ Low 1 ที่รอบเครื่องยนต์ทำงาน 1,900 รอบต่อนาที ซึ่งจะมีความเร็ว 20, 25 และ 30 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

2. ระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ในการปลูก 2 ระดับ ได้แก่ 80 และ 100 เซนติเมตร โดยอ้างอิงจากเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ระยะในการปลูก 80×80 เซนติเมตร หรือ 100×100 เซนติเมตร เนื่องจากระยะดังกล่าวเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดกับการจัดการหลังจากการปลูกและต้นพันธุ์ได้รับธาตุอาหารได้เต็มที่หรืออาจยึดตามหลักประชากรต่อไร่ต้องอยู่ 1,600 -2,500 ต้นต่อไร่ ตามกรมวิชาการเกษตรให้คำแนะนำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

โดยแต่ละปัจจัยจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งจะทำให้ได้จำนวนการทดลองรวมทั้งสิ้น 18 การทดลอง

3.4.2 แปลงทดสอบ

แปลงทดสอบอยู่ที่อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา ลักษณะดินของแปลงทดสอบมีลักษณะเป็นดินเหนียว ก้อนดินมีลักษณะก้อนใหญ่ผสมก้อนเล็ก ซึ่งทำการทดสอบเครื่องต้นแบบในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ โดยกำหนดพื้นที่ทำการทดลองด้านกว้าง 14 เมตร ยาว 60 เมตร จำนวน 3 แปลง โดยทำการไถเตรียมแปลงด้วยผาลไถ 5 จาน 1 รอบ ขั้นตอนถัดไปทำการไถพรวนด้วยโรตารี่ 1 รอบ เพื่อย่อยดินให้ละเอียดตามข้อแนะนำในการปลูกมันสำปะหลังของกรมวิชาการเกษตร และขั้นตอนสุดท้ายทำการปักหลักแนวการปลูกโดยให้ระยะห่างแต่ละแนวเท่ากับ 100 เซนติเมตร

3.4.3 การเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดสอบ

ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง คือ มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 72 อายุท่อนพันธุ์ 11 เดือน โดยเลือกใช้ท่อนพันธุ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 - 5.0 เซนติเมตร แล้วทำการตัดเป็นท่อนให้มีความยาวแต่ละท่อน 25 เซนติเมตร จากนั้นนำท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้วสอดใส่ในท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว เพื่อเตรียมบรรจุในฮอปเปอร์ของเครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ

3.4.4 การทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum Test)

การทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum Test) เพื่อทดสอบหาความสามารถในการรับแรงกระแทกของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่ยื่นออกจากท่อนพันธุ์ป้องกัน

การเสียหายของตามันสำปะหลัง หากในระหว่างการทำงานของเครื่องปลูกมันสำปะหลังสร้างความเสียหายต่อตามันสำปะหลัง จะทำให้ท่อนพันธุ์ที่ทำการปลูกไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จากความสำคัญดังกล่าวจึงนำสู่การทดสอบแบบ Pendulum Test โดยมีขั้นตอนการเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจากการคัดเลือกต้นพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 อายุ 12 เดือน จากแปลงปลูก ขั้นตอนถัดไปนำต้นมันสำปะหลังตัดส่วนโคนและปลายของต้นออกประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อคัดส่วนที่แก่และอ่อนเกินไปออกจากลำต้นตามวิธีการปลูก หลังจากนั้นตัดส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายให้ได้ส่วนที่มีตาติดกับท่อนพันธุ์ 1 ตา หลังจากนั้นนำไปทดสอบแบบ Ballistic Pendulum กับส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของต้นมันสำปะหลัง โดยทดสอบที่ 4 มุมตกกระทบ คือ 10, 15, 20 และ 25 องศา โดยทดสอบมุมละ 20 ตัวอย่าง และคำนวณหาพลังงานกระทบ (ธนากร และคณะ, 2558) ดังสมการที่ 3.1 หลังจากนั้นวัดระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เพื่อประเมินความเสียหายที่เกิดกับท่อนพันธุ์หลังจากการทดลอง

$$U = mgR(\cos\theta_r - \cos\theta_i) \tag{3.1}$$

เมื่อ U คือ พลังงานกระทบ มีหน่วยเป็น J

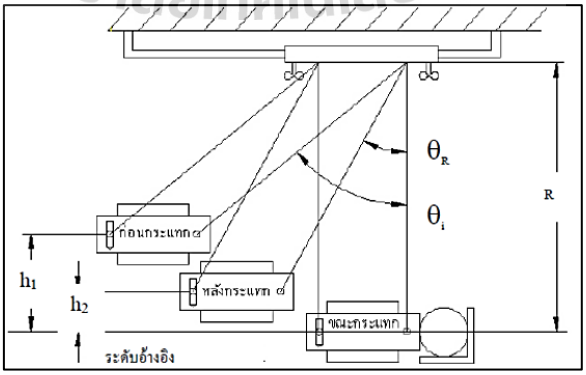
g คือ ค่านิจโน้มถ่วง มีค่า 9.81 m/s^2

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น kg

R คือ ความยาวเชือก มีหน่วยเป็น m

θ_r คือ มุมของเส้นเชือกทำกับแนวดิ่งเมื่อสะท้อนกลับสูงสุด มีหน่วยเป็นองศา

θ_i คือ มุมของเส้นเชือกทำกับแนวดิ่งก่อนปล่อย มีหน่วยเป็นองศา



รูปที่ 3.12 การทดสอบแบบแท่งมวลแก่ง Ballistic Pendulum (ธนากร และคณะ, 2558)

3.4.5 การทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่รถแทรกเตอร์

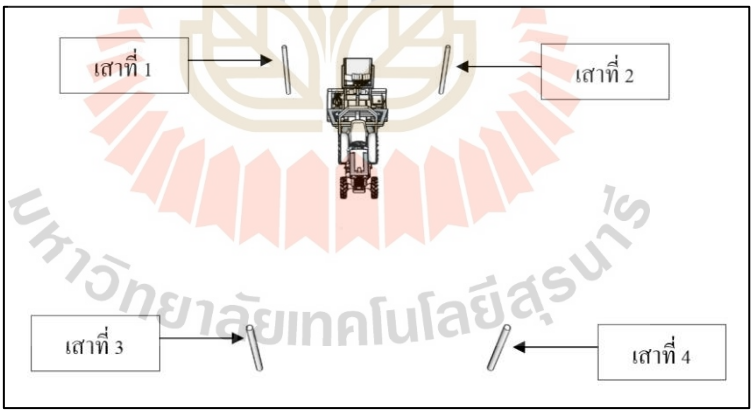
การหาความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ใช้วิธีการจับเวลาการเคลื่อนที่ของรถในช่วงระยะ 80 เมตร โดยที่รถจะเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง ซึ่งตำแหน่งที่รถจอดก่อนทำการเคลื่อนที่จะทำการปักแนวไว้ทางด้านซ้ายและด้านขวาของรถแทรกเตอร์โดยกำหนดให้เป็นเสาที่ 1 และเสาที่ 2 และที่ขอบแปลงการทดลองทำการปักเสาที่ขนานกับแนวการเคลื่อนที่ของตัวรถโดยกำหนดให้เป็นเสาที่ 3 และเสาที่ 4 ดังภาพที่ 3.13 เมื่อรถเคลื่อนที่จึงเริ่มทำการจับเวลาและหยุดการจับเวลาเมื่อรถเคลื่อนที่มาถึงเสาที่ 3 และเสาที่ 4 ดังนั้น สามารถหาความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ได้จากสมการที่ 3.2

$$S_t = \frac{D}{T} \tag{3.2}$$

เมื่อ S_t คือ ความเร็วรถแทรกเตอร์ในการทำงาน (เซนติเมตรต่อวินาที)

D คือ ระยะเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ขณะทำการปักท่อนพันธุ์ (เซนติเมตร)

T คือ เวลาที่ใช้เคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ขณะทำการปักท่อนพันธุ์ (วินาที)



รูปที่ 3.13 การทดสอบความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์

3.4.6 การทดสอบความสามารถในการทำงาน

การหาความสามารถในการทำงาน คำนวณจากพื้นที่การทำงานเทียบกับเวลาจนครบพื้นที่ที่กำหนด โดยกำหนดให้พื้นที่ทำงานของแปลงปลูกมีขนาดกว้าง 14 เมตร และยาว 60 เมตร ทำการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 และ 100 เซนติเมตร ดังนั้น สามารถหาความสามารถในการทำงานจริงได้จากสมการที่ 3.3

$$C_a = \frac{A}{T} \quad (3.3)$$

เมื่อ C_a คือ ความสามารถในการทำงานจริง (ไร่ต่อชั่วโมง)

A คือ พื้นที่ในการทำงาน (ไร่)

T คือ เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง)

3.4.7 อัตราการใช้เชื้อเพลิง

อัตราการใช้เชื้อเพลิงคำนวณจากปริมาณน้ำมันดีเซลที่เติมหลังจากการทดลองในแต่ละรอบ โดยก่อนเริ่มทำการทดลองทำการเติมน้ำมันให้เต็มถังแล้วทำเครื่องหมายระดับของน้ำมันเอาไว้ เมื่อทำการทดลองเสร็จในแต่ละรอบทำการตวงน้ำมันใส่บีกเกอร์แก้วที่แสดงปริมาณ 1 ลิตร ทำการตวงแล้วเติมน้ำมันกลับให้เต็มถึงเครื่องหมายที่กำหนดไว้ก่อนหน้า จึงทำให้ทราบปริมาณที่ใช้ในการทดลองแต่ละรอบและนำมาเทียบกับพื้นที่ทำงาน โดยกำหนดให้พื้นที่การทำงานของแปลงปลูกมีขนาดกว้าง 14 เมตร และยาว 60 เมตร ดังนั้น สามารถหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้จากสมการที่ 3.4

$$E = \frac{F_U}{A} \quad (3.4)$$

เมื่อ E คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ลิตรต่อไร่)

F_u คือ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด (ลิตร)

A คือ พื้นที่ในการทำงาน (ไร่)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.8 อัตราการใช้พลังงาน

อัตราการใช้พลังงาน คำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกลไกการทำงานและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ Power Meter ก่อนเริ่มทำการทดลองรีเซ็ตค่าที่เครื่องมือวัดให้เป็นศูนย์และเมื่อทำการทดลองเสร็จในแต่ละรอบนำค่าพลังงานที่ใช้เทียบกับพื้นที่ทำงาน โดยกำหนดให้พื้นที่การทำงานของแปลงปลูกมีขนาดกว้าง 14 เมตร และยาว 60 เมตร ดังนั้น สามารถหาอัตราการใช้พลังงานได้จากสมการที่ 3.5

$$W = \frac{E_c}{A} \quad (3.5)$$

เมื่อ W คือ อัตราการใช้พลังงาน (เมกกะจูลต่อไร่)

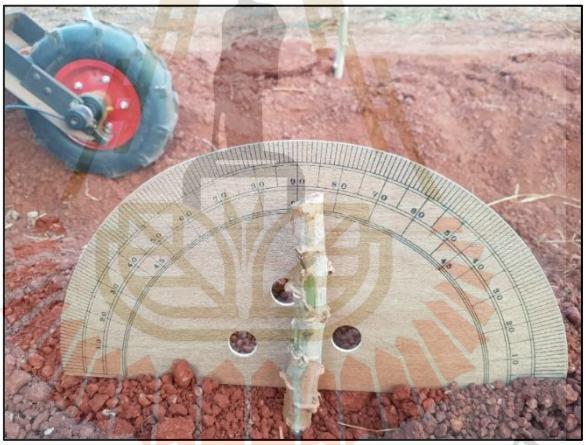
E_e คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (เมกะจูล)

A คือ พื้นที่ในการทำงาน (ไร่)

3.4.9 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง

เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง หมายถึง ท่อนพันธุ์ที่ชุดปักท่อนพันธุ์ปักลงดินที่มีมุมเอียงของท่อนพันธุ์มีค่ามากกว่า 45 องศากับแนวตั้งฉาก โดยคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้งจากสมการที่ 3.6

$$\text{ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง} = \frac{\text{ท่อนพันธุ์ที่ปักลงดินมุมเอียงมากกว่า45องศา}}{\text{ท่อนพันธุ์ทั้งหมด}} \text{x100} \qquad (3.6)$$



รูปที่ 3.14 การทดสอบมุมเอียงของท่อนพันธุ์ที่ปักลงดินแล้ว

3.4.10 เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์เสียหาย

เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหาย หมายถึง ตา (Bud) ที่อยู่บนท่อนพันธุ์ได้รับแรงจากอุปกรณ์ปักท่อนพันธุ์จนทำให้ตาหลุดออกจากท่อนพันธุ์ โดยคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์เสียหายจากสมการที่ 3.7

$$\text{ตาบนท่อนพันธุ์เสียหาย} = \frac{\text{ท่อนพันธุ์ที่ตาเสียหาย}}{\text{ท่อนพันธุ์ทั้งหมด}} \text{x100} \qquad (3.7)$$

รูปที่ 3.15 ท่อนพันธุ์ที่เสียหายจากกลไกปักท่อนพันธุ์จะมีรอยที่ตาบนท่อนพันธุ์

3.4.11 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการปลูก

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการปลูก หมายถึง ระยะห่างระหว่างแถวที่มีความคลาดเคลื่อนกว่าระยะที่ทดลอง ± 10 เซนติเมตร โดยคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการปลูกจากสมการที่ 3.8

$$\text{ความผิดพลาดของการปลูก} = \frac{\text{ท่อนพันธุ์ที่ระยะปลูกคลาดเคลื่อน}}{\text{ท่อนพันธุ์ทั้งหมด}} \text{x} 100 \qquad (3.8)$$

รูปที่ 3.16 การวัดระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ด้วยเทปวัด

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 บทนำ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้วและทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งการทดสอบจะเริ่มจากการทดสอบแรงที่กระทำและระยะยุบตัวของความยาวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาออกแบบชุดปักท่อนพันธุ์เพื่อให้ชุดปักท่อนพันธุ์ทำลายตา (Bud) บนท่อนพันธุ์มันสำปะหลังให้น้อยที่สุดและหลังจากนั้นจึงทำการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่องแล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน

4.2 คุณลักษณะของเครื่องต้นแบบ

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 72 อายุ 11 เดือน ซึ่งเหมาะสมกับการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยจะทำการตัดท่อนพันธุ์ให้มีความยาว 25 เซนติเมตร สำหรับการปลูกในฤดูแล้ง จากการเตรียมท่อนพันธุ์พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังมีคุณสมบัติดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเชิงกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติเชิงกายภาพ	ค่าที่ได้ (เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนพันธุ์เฉลี่ย	2.51	0.20
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนพันธุ์สูงสุด	2.96	-
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนพันธุ์ต่ำสุด	2.01	-
ระยะการโก่งของท่อนพันธุ์เฉลี่ย	0.97	0.26
รอยแผลใบที่ยื่นออกมาจากท่อนพันธุ์เฉลี่ย	0.78	0.08

จากตารางที่ 4.1 นำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนพันธุ์สูงสุด ระยะการโก่งของท่อนพันธุ์และระยะรอยแผลใบทั้งสองด้านของท่อนพันธุ์มารวมกันจะได้เท่ากับ 4.71 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางรวมของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่จะนำมาใช้ในการปลูก โดยก่อนการปลูกจะต้องนำท่อนพันธุ์บรรจุลงในท่อพีวีซีเพื่อป้องกันท่อนพันธุ์เสียหายในระหว่างท่อนพันธุ์เคลื่อนที่อยู่ในเครื่องปลูก เพื่อเป็นการคัดเลือกขนาดท่อพีวีซีที่ใช้จึงนำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมของท่อนพันธุ์ที่เท่ากับ 4.71 เซนติเมตร มาใช้เลือกขนาดท่อพีวีซีที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นขนาดท่อพีวีซีที่ใช้ในการบรรจุท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเลือกใช้ขนาดท่อ 2 นิ้ว ชั้น 5 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์วงในท่อพีวีซีเท่ากับ 5.64 เซนติเมตร

4.2.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้วผลการทดสอบสมรรถนะแต่ละส่วนมีสมรรถนะการทำงาน ดังนี้

1. อุปกรณ์ยกร่องปลูก

ผาลยกร่องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 เซนติเมตร มีความสามารถในการยกร่องได้สูง 25 เซนติเมตร และความกว้างบนสันร่องมีขนาด 35 เซนติเมตร

2. อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่บรรจุไว้ในท่อพีวีซีผลิตจากแท่งซุปเปอร์ลีนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร โดยทำการเซาะร่องสำหรับบรรจุท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว จำนวน 2 ร่อง และทำการติดตั้งเซ็นเซอร์แสงเพื่อใช้ตรวจจับการเคลื่อนที่ของท่อพีวีซี เมื่อท่อพีวีซีเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์แสง ระบบควบคุมจะสั่งให้อุปกรณ์ลำเลียงหยุดหมุน เพื่อเป็นการปรับค่าให้อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์และเซ็นเซอร์แสงทำงานสัมพันธ์กัน จึงต้องทำการทดลองปรับค่าความเร็วรอบการหมุนของอุปกรณ์ลำเลียงให้ทำงานได้รวดเร็วที่สุด โดยที่เซ็นเซอร์แสงสามารถตรวจจับการตำแหน่งหยุดของท่อพีวีซีได้อย่างแม่นยำ ผลการทดลองพบว่าความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์ทำงานได้ดีที่สุดที่ความเร็วรอบ 13 รอบต่อนาที ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของการอ่านค่าตำแหน่งของอุปกรณ์ลำเลียงโดยใช้เซ็นเซอร์แสงในการตรวจจับ

ความเร็วรอบการหมุน	จำนวนครั้งที่ตรวจจับสำเร็จ	เปอร์เซ็นต์สำเร็จ
7 รอบต่อนาที	7	100 %
10 รอบต่อนาที	10	100 %
13 รอบต่อนาที	13	100 %
15 รอบต่อนาที	12	80 %
18 รอบต่อนาที	10	55 %

3. อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

อุปกรณ์กระทุ้งพันธุ์มันสำปะหลังที่บรรจุไว้ในท่อพีวีซี ใช้กระบอกนิวแมติกส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอก (Bore size) 25 มิลลิเมตร ความยาวระยะชักกระบอกสูบ (Stroke Length) 40 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ขนาด 550 วัตต์ สามารถผลิตลมอัดได้ 120 ลิตรต่อนาที ในการผลิตลมอัดให้กระบอกนิวแมติกส์ของอุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์และช่องเก็บท่อนพันธุ์ที่ใช้งานร่วมกัน และเครื่องอัดอากาศทำการติดตั้งเพรสเซอร์สวิตซ์ (Pressure Switch) ควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ เมื่อแรงดันลมอัดในถังเก็บต่ำกว่า 6 บาร์ เครื่องอัดอากาศจะเริ่มทำงานจนกระทั่งแรงดันในถังเก็บมีแรงดันเท่ากับ 9 บาร์ จากการทดลองการทำงานของอุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเมื่อแรงดันลมอัดในถังเก็บแตกต่างกันระหว่าง 9 บาร์ ถึง 6 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทำงานใน 1 รอบการทำงานยังคงใช้เวลาใกล้เคียงกัน

3. ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

ช่องเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลังทำหน้าที่เปิด ปิดให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังหล่นไปยังชุดปักท่อนพันธุ์ โดยใช้กระบอกนิวแมติกส์ขวางท่อนพันธุ์ไว้ เมื่อระยะการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ได้ระยะเท่ากับระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ตั้งไว้กระบอกนิวแมติกส์จะเคลื่อนที่กลับ ทำให้ท่อนพันธุ์หล่นลงไปชุดปักท่อนพันธุ์ กระบอกนิวแมติกส์ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอก (Bore size) 25 มิลลิเมตร ความยาวระยะชักกระบอกสูบ (Stroke Length) 5 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ขนาด 550 วัตต์ สามารถผลิตลมอัดได้ 120 ลิตรต่อนาที ในการผลิตลมอัดให้กระบอกนิวแมติกส์ของอุปกรณ์ช่องเก็บท่อนพันธุ์และกระทุ้งท่อนพันธุ์ที่ใช้งานร่วมกัน และเครื่องอัดอากาศทำการติดตั้งเพรสเซอร์สวิตซ์ (Pressure Switch) ควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ เมื่อแรงดันลมอัดในถังเก็บต่ำกว่า 6 บาร์ เครื่องอัดอากาศจะเริ่มทำงานจนกระทั่งแรงดันในถังเก็บมีแรงดันเท่ากับ 9 บาร์ จากการทดลองการทำงานของอุปกรณ์ช่องเก็บท่อนพันธุ์เมื่อแรงดันลมอัดในถังเก็บแตกต่างกันระหว่าง 9 บาร์ ถึง 6 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทำงานใน 1 รอบการทำงานยังคงใช้เวลาใกล้เคียงกัน

4. ชุดปักท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

ชุดปักท่อนพันธุ์ทำหน้าที่เพิ่มความเร็วการตกให้แก่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเพื่อให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังสามารถแทงทะลุลงดินได้ โดยชุดปักท่อนพันธุ์จะตั้งระยะห่างของชุดปักไว้ 2 เซนติเมตร เมื่อท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 เซนติเมตร จะอาศัยการยุบตัวของยางปักท่อนพันธุ์เพื่อลดแรงกระแทกของตา (Bud) บนท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง จากการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum) เพื่อทดสอบหาพลังงานกระทบที่ไม่ทำให้ตาบนท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไม่เสียหาย จากการทดลองพบว่า พลังงานกระทบ 1.071 จูล จะทำให้รอยแผลใบที่ยื่นออกมาจากท่อนพันธุ์ป้องกันตามันสำปะหลังเสียหาย โดยรอย

แผลใบที่ยื่นออกมาจากท่อนพันธุ์จะมีความยาวเฉลี่ย 7.8 มิลลิเมตร เมื่อได้รับพลังงานกระแทกจะมีระยะยุบตัวเฉลี่ย 3.9 มิลลิเมตร ซึ่งจะบางตัวอย่างในการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum) จะมีการเสียหาย ดังนั้นจึงนำค่าพลังงานกระทบเท่ากับ 1.071 จูล มาคำนวณความเร็วรอบในการหมุนของชุดปักท่อนพันธุ์ แล้วนำค่าความเร็วรอบที่ได้ใช้เป็นขีดจำกัดความเร็วสูงสุดในการหมุนของชุดปักพันธุ์ ดังสมการที่ 4.1

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{4.1}$$

โดยที่ E_k คือ พลังงานจลน์ของวัตถุ (จูล)

m คือ มวลของวัตถุ (กิโลกรัม)

v คือ ความเร็วของวัตถุ (เมตรต่อวินาที)

จากสมการที่ 4.1 จะได้ความเร็วเชิงเส้นของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง จึงนำค่าความเร็วเชิงเส้นที่ได้ไปคำนวณหาคาบเวลาการหมุนของชุดปักท่อนพันธุ์ดังสมการที่ 4.2

$$T = \frac{2\pi r}{V} \tag{4.2}$$

โดยที่ T คือ คาบเวลาการหมุน (วินาทีต่อรอบ)

R คือ รัศมีของชุดปักท่อนพันธุ์ (เมตร)

v คือ ความเร็วของวัตถุ (เมตรต่อวินาที)

จากสมการที่ 4.1 แทนมวลของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเท่ากับ 50 กรัม และพลังงานจลน์จากการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum) เท่ากับ 1.071 จูล จะได้ความเร็วเชิงเส้นของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเท่ากับ 6.54 เมตรต่อวินาที จึงนำค่าความเร็วเชิงเส้นที่ได้มาแทนค่าในสมการที่ 4.2 โดยกำหนดให้รัศมีของชุดปักท่อนพันธุ์มีค่าเท่ากับ 10 เซนติเมตร จึงได้ว่าคาบเวลาการหมุนเท่ากับ 0.096 วินาทีต่อรอบ หรือเท่ากับ 625 รอบต่อนาที

5. ล้อวัดระยะทาง

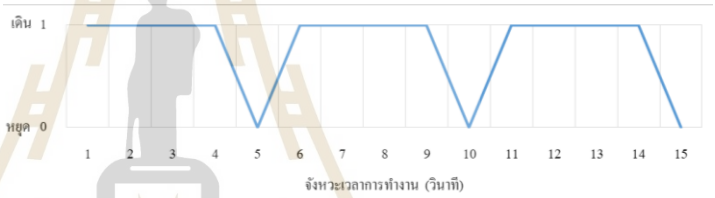
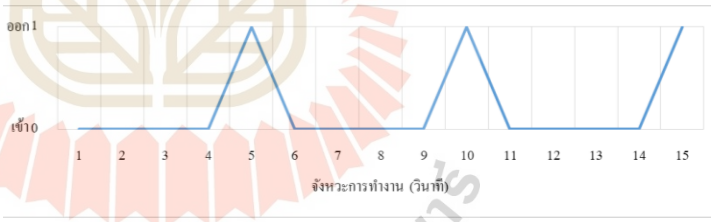
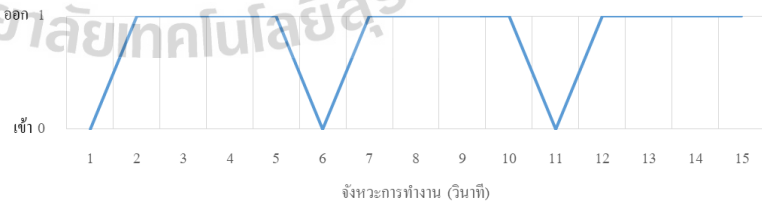
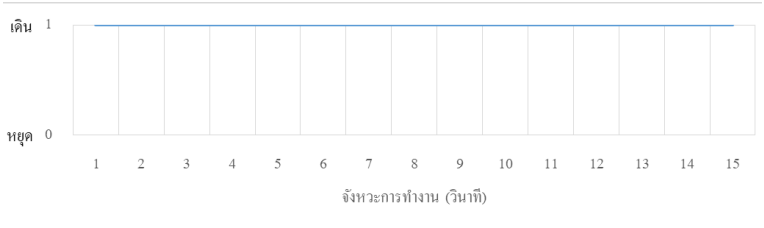
ล้อวัดระยะทางทำการติดตั้งเซ็นเซอร์เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder Sensor) ความละเอียด 240 พัลส์ต่อรอบ จากการทำการสอบเทียบโดยมีวิธีการหมุนล้อวัดระยะทางที่มีความเส้นรอบวง 100 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่า เมื่อหมุนล้อวัดระยะทางครบ 1 รอบ

สัญญาณพัลส์ที่อ่านได้ที่โปรแกรมควบคุมก็สามารถอ่านค่าได้ 240 พัลส์ จึงนำค่าที่ได้นี้มาใช้กำหนดระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ปลูก โดยระยะห่าง 1 เซนติเมตร กำหนดให้เขียนโปรแกรมควบคุมอ่านค่าได้ 240 พัลส์ และระยะห่าง 80 เซนติเมตร กำหนดให้เขียนโปรแกรมควบคุมอ่านค่าได้ 192 พัลส์

4.2.3 แผนภาพการเคลื่อนที่ (Motion Diagram)

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง กลไกการทำงานของอุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์ ช่องเก็บท่อนพันธุ์ และชุดปักจะต้องทำงานสัมพันธ์กันภายใต้เวลาที่แน่นอน เพื่ออธิบายการทำงานของอุปกรณ์ที่กล่าวมาสามารถอธิบายโดยใช้แผนภาพการเคลื่อนที่ (Motion Diagram) ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แผนภาพการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ

ชื่ออุปกรณ์	แผนภาพการเคลื่อนที่
อุปกรณ์ลำเลียงท่อนพันธุ์	
อุปกรณ์กระทุ้งท่อนพันธุ์	
ช่องเก็บท่อนพันธุ์มัน	
ชุดปักท่อนพันธุ์	

4.2.4 ผลการสร้างเครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ

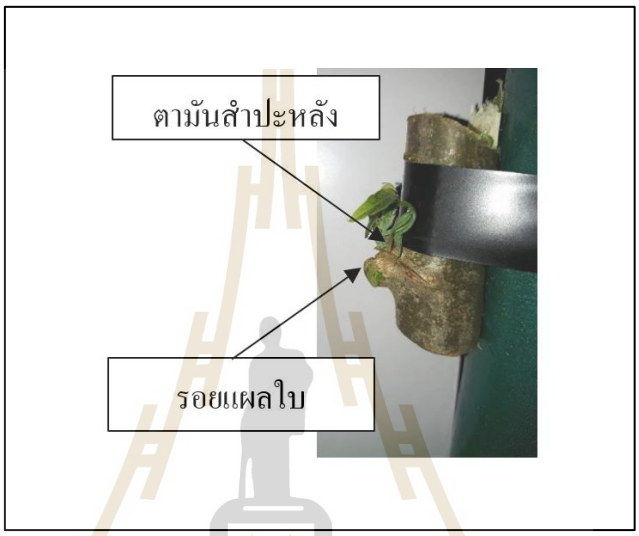
จากการดำเนินการออกแบบและกำหนดกลไกการทำงาน จึงได้ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง เพื่อนำค่าคุณสมบัติที่ทดสอบได้นำมาปรับปรุงแบบก่อนดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ หลังจากนั้นจึงทำการสร้างเครื่องต้นแบบทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข จนกระทั่งเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังแสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.1 เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบมุมด้านหลัง

รูปที่ 4.2 เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบมุมด้านหน้า

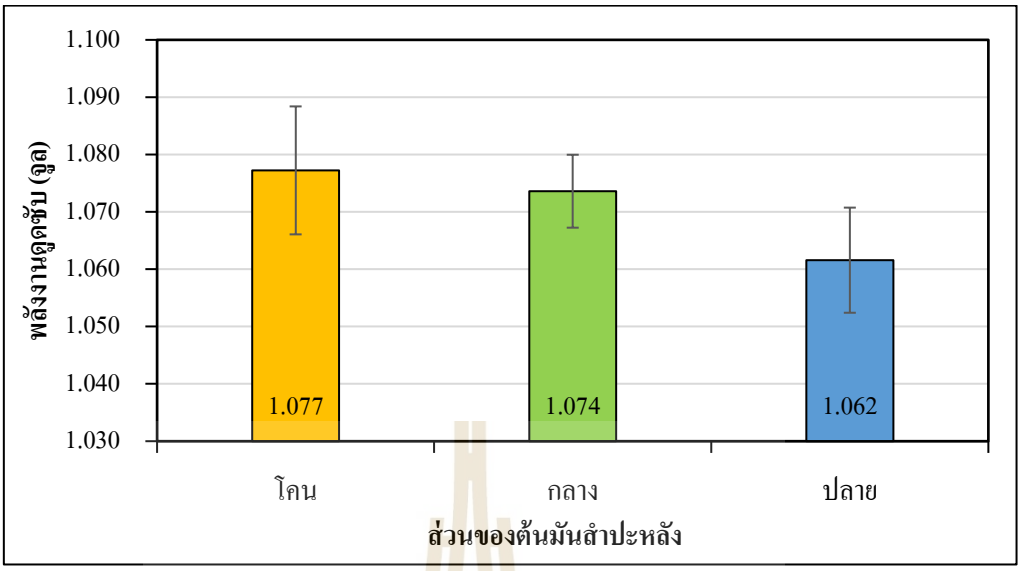
4.3 ผลการทดสอบท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยวิธี Ballistic Pendulum

ก่อนทำการสอบแบบ Ballistic Pendulum จะทำการวัดความยาวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่ยื่นออกมาป้องกันตาบนท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ดังรูปที่ 4.3 หลังจากนั้นจึงเริ่มการทดสอบที่มุมตกกระทบ 4 มุม คือ 10, 15, 20 และ 25 องศา กับส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของต้นมันสำปะหลัง

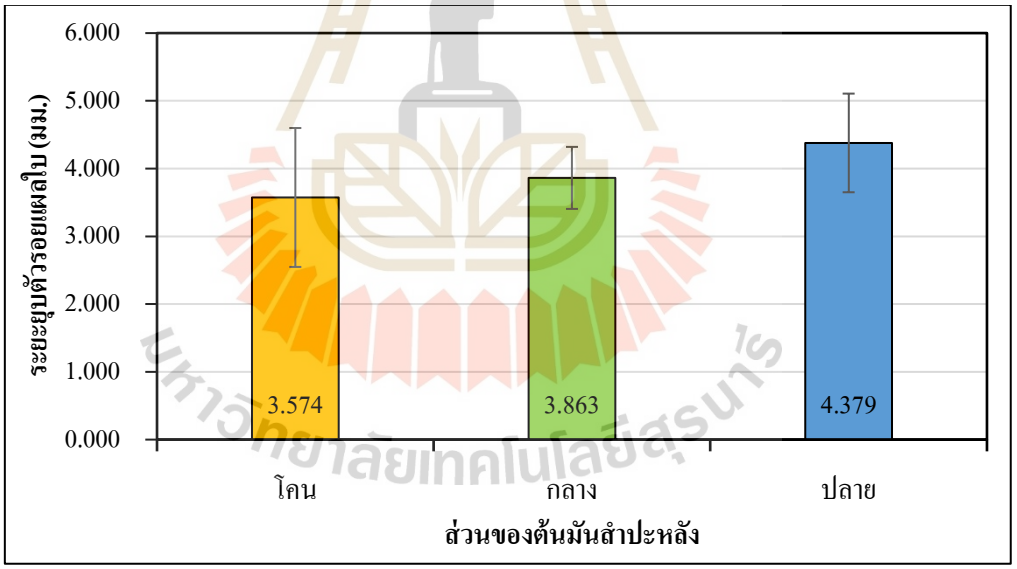


รูปที่ 4.3 เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบมุมด้านหน้า

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ที่มุมตกกระทบ 25 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 1.077 จูล 1.074 จูล และ 1.062 จูล ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 3.57 มม., 3.86 มม. และ 4.38 มม. ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 1.089 จูล 1.080 จูล และ 1.068 จูล ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 4.87 มม., 4.51 มม. และ 5.02 มม. ตามลำดับ



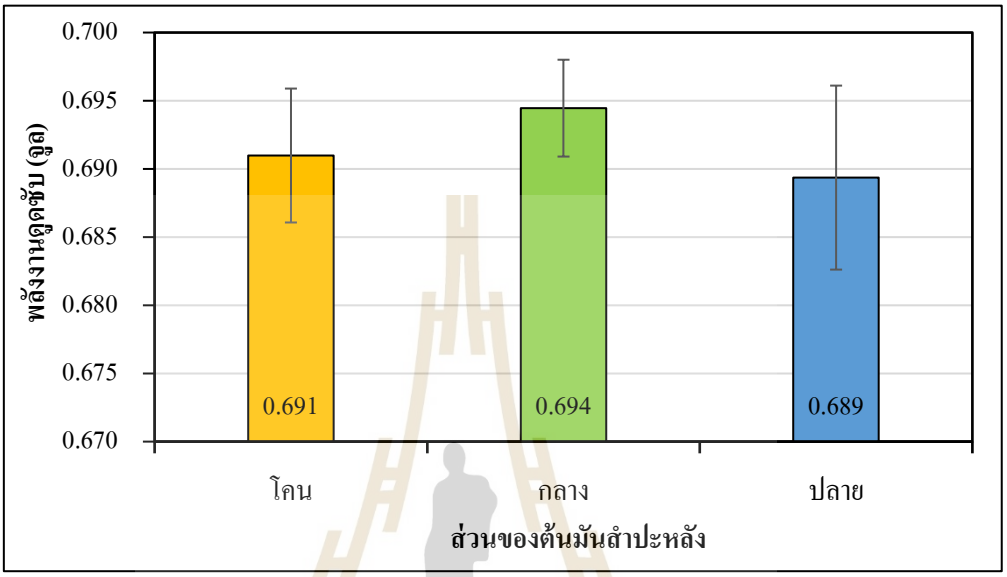
รูปที่ 4.4 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 25 องศา



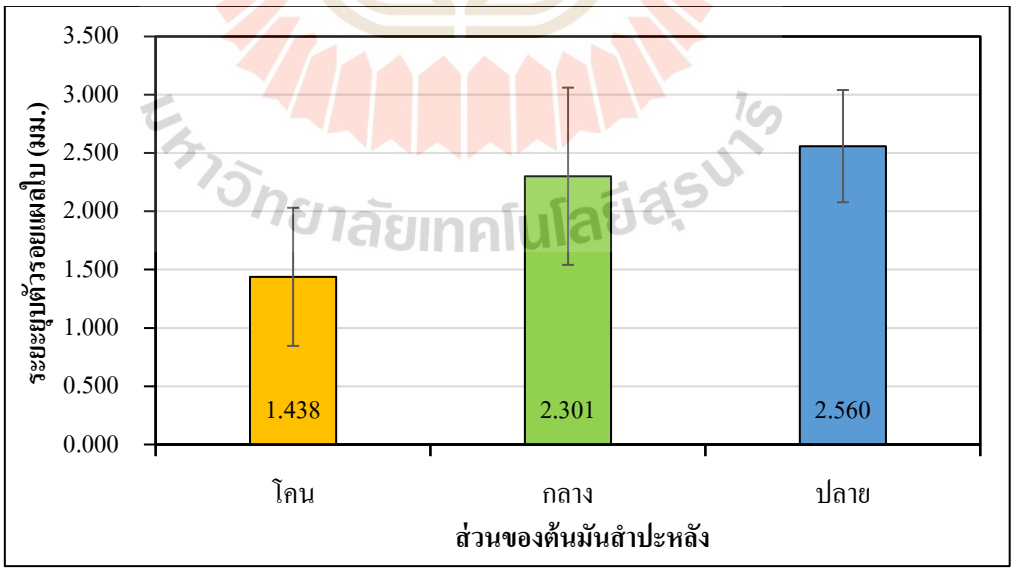
รูปที่ 4.5 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 25 องศา

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 ที่มุมตกกระทบ 20 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.698 จูล 0.694 จูล และ 0.689 จูล ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 2.98 มม., 2.30 มม. และ 2.56 มม.

ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 0.698 จูล, 0.698 จูล และ 0.698 จูล ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 2.98 มม., 2.70 มม. และ 2.14 มม. ตามลำดับ

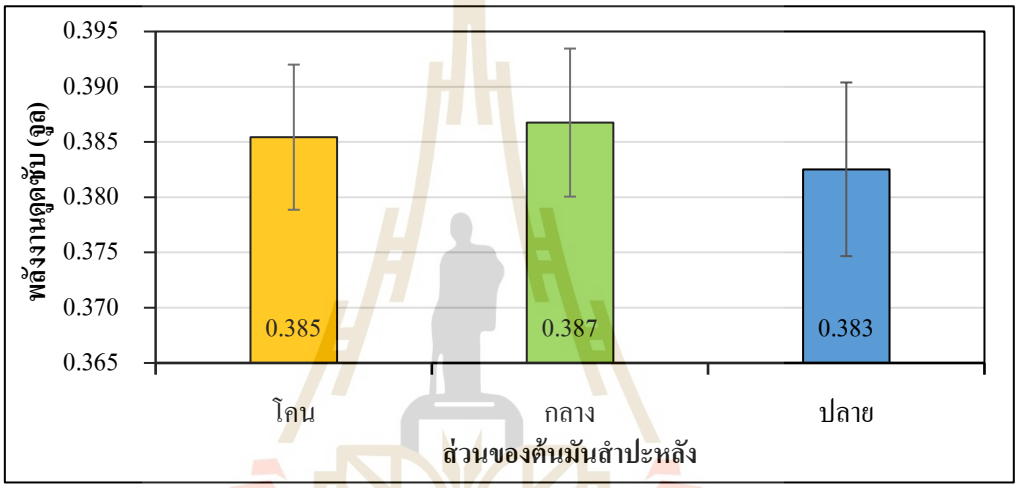


รูปที่ 4.6 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 20 องศา

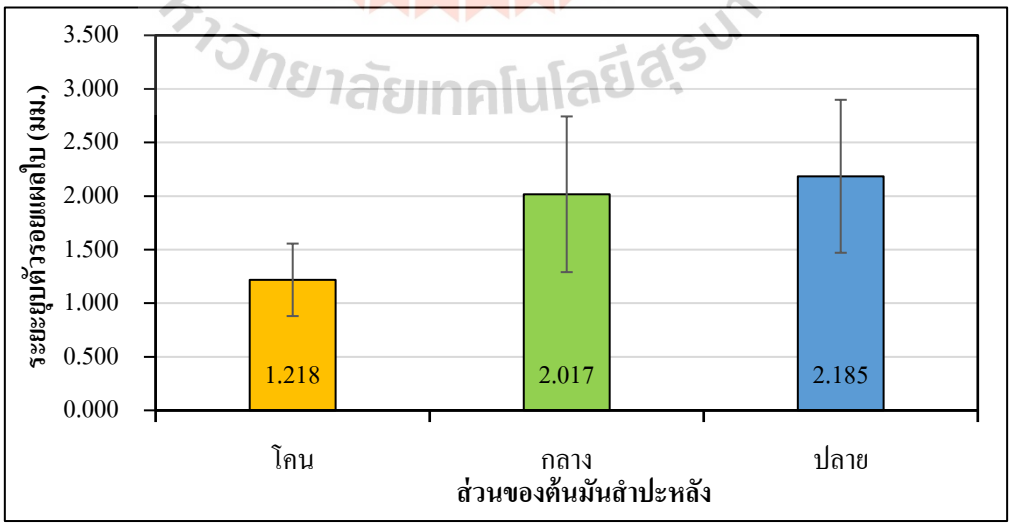


รูปที่ 4.7 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 20 องศา

จากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ที่มุมตกกระทบ 15 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.385 จูล 0.387 จูล และ 0.383 จูล ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทก ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 1.22 มม. 2.02 มม. และ 2.18 มม. ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 0.391 จูล 0.392 จูล และ 0.391 จูล ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 1.11 มม. 0.98 มม. และ 3.73 มม. ตามลำดับ

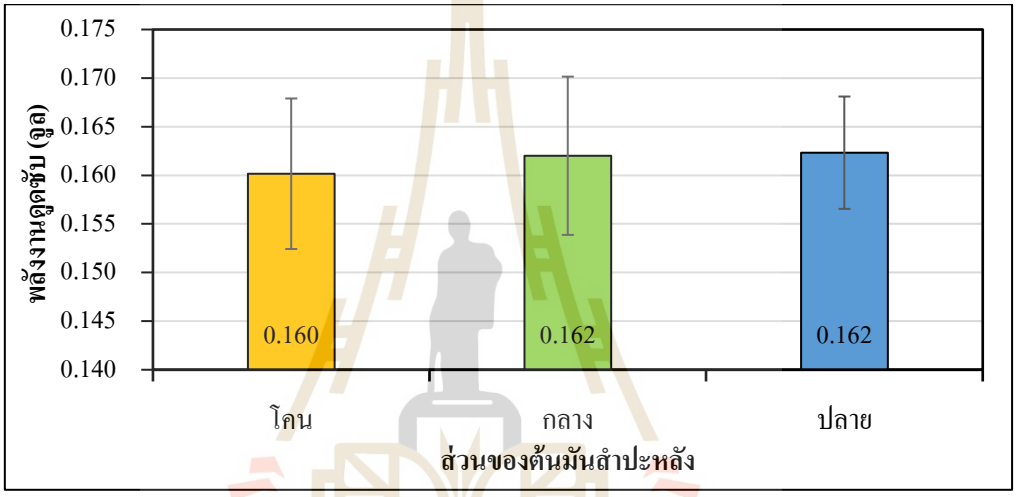


รูปที่ 4.8 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 15 องศา

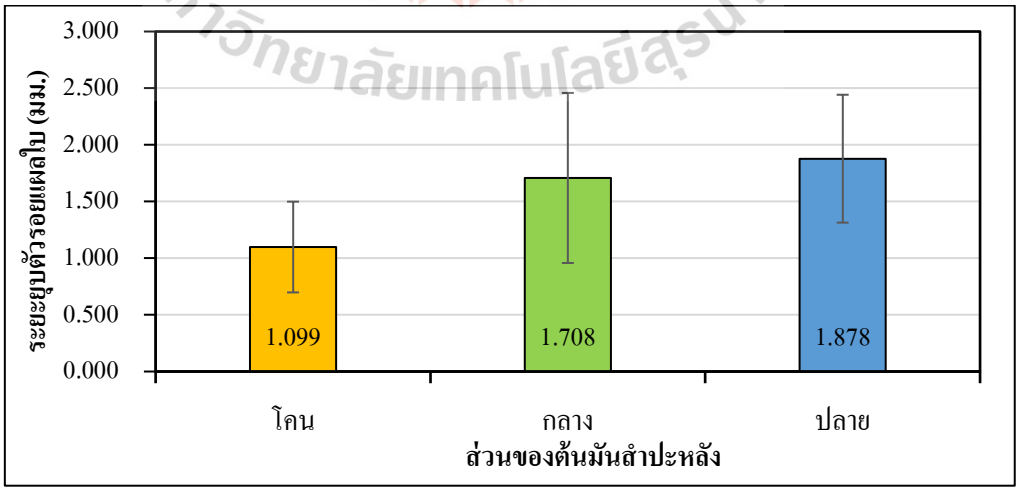


รูปที่ 4.9 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 15 องศา

จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 ที่มุมตกกระทบ 10 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.160 จูล, 0.162 จูล และ 0.162 จูล ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 1.10 มม. 1.71 มม. และ 1.88 มม. ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 0.170 จูล, 0.171 จูล และ 0.171 จูล ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 1.36 มม. 2.61 มม. และ 2.22 มม. ตามลำดับ

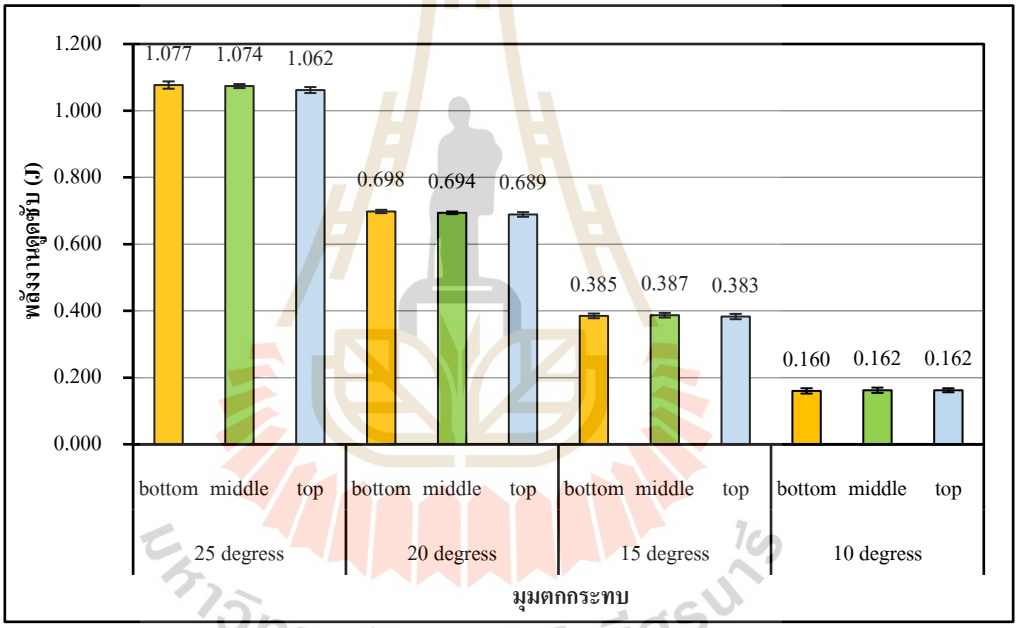


รูปที่ 4.10 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 10 องศา



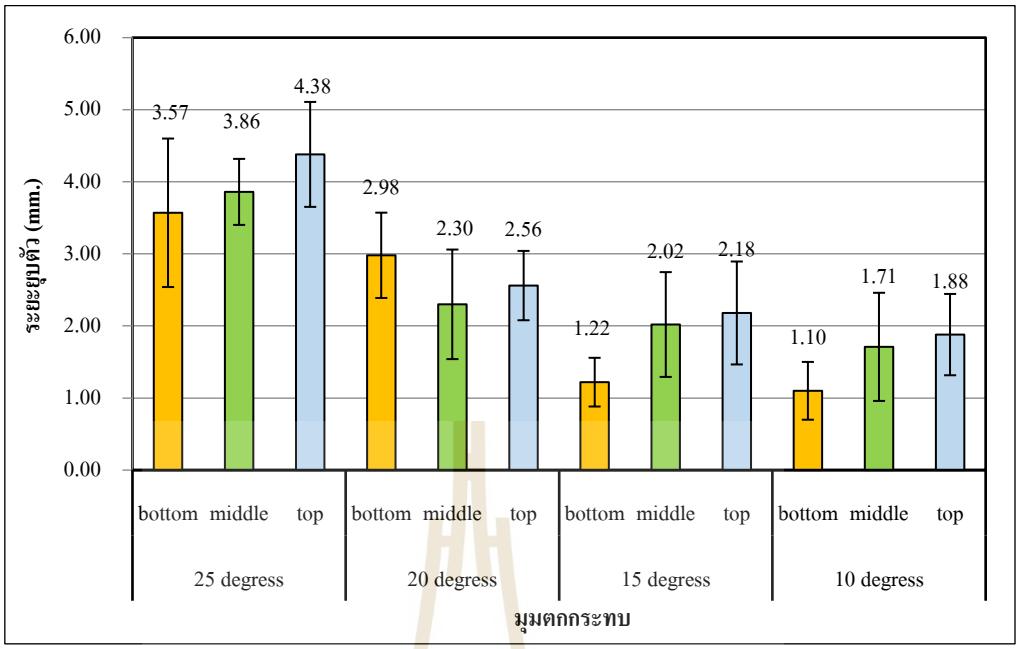
รูปที่ 4.11 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 10 องศา

จากรูปที่ 4.12 ผลของแรงกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังรับได้มากที่สุดคือมุมตกกระทบ 25 องศา โดยที่ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้น มีค่าพลังงานกระทบเฉลี่ยเท่ากับ 1.077 จูล, 1.074 จูล และ 1.062 จูล ตามลำดับ เมื่อนำค่าทั้งสามส่วนมาคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อเป็นตัวแทนของทั้งลำต้นจะได้ค่าเท่ากับ 1.071 จูล และ 0.008 จูล ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่เล็กน้อยจึงถือได้ว่า ลำต้นมันสำปะหลังสามารถรับพลังงานกระทบได้เท่ากันทั้งลำต้น ซึ่งเป็นไปตามคำแนะนำของศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (สรรเสริญ, 2558) แนะนำให้เกษตรกรนำต้นมันสำปะหลังที่มีอายุ 10 -12 เดือน มาใช้เป็นท่อนพันธุ์ในการปลูกเพื่อให้ได้ต้นพันธุ์ที่แข็งแรงและมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูง



รูปที่ 4.12 พลังงานกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังดูดซับที่มุมตกกระทบ 4 มุมการทดลอง

จากรูปที่ 4.13 ระยะยุบของรอยแผลใบเฉลี่ย (Leaf Scar) ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 3.57 มม. 3.86 มม. และ 4.38 มม. ตามลำดับ เมื่อนำค่าทั้งสามส่วนมาคำนวณค่าเฉลี่ยระยะยุบของรอยแผลใบและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งลำต้นจะได้ค่าเท่ากับ 3.98 มม. และ 0.41 มม. ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่มีค่ามากจึงถือได้ว่า ลำต้นมันสำปะหลังมีระยะยุบของรอยแผลใบแตกต่างกันมาก ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์ของแต่ละพื้นที่ปลูก



รูปที่ 4.13 ระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่มุมตกกระทบ 4 มุมการทดลอง

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง

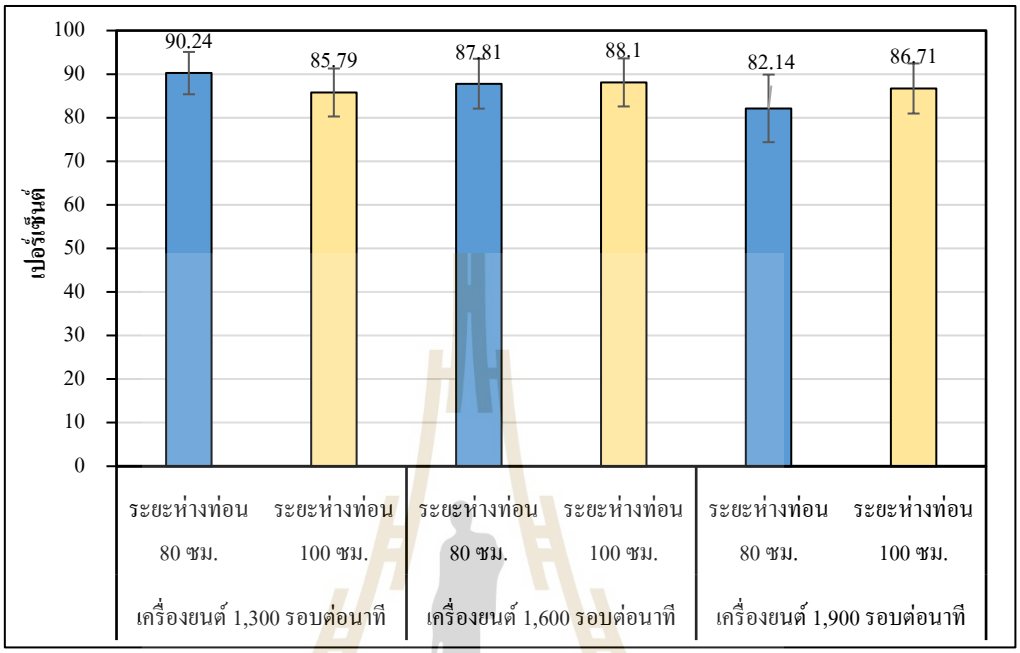
4.4.1 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง

เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้งจะคำนวณจากท่อนพันธุ์ที่ชุดปักท่อนพันธุ์ปักลงดินที่มีมุมเอียงของท่อนพันธุ์มีค่าน้อยกว่า 45 องศากับแนวตั้งฉากกับพื้นดิน โดยเก็บผลความเอียงจากท่อนพันธุ์ที่ปลูกจำนวน 14 แถวต่อ 1 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง

ระยะห่างท่อนพันธุ์	ความเร็วรอบเครื่องยนต์	ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80 เซนติเมตร	1,300 รอบต่อนาที	90.24	4.86
	1,600 รอบต่อนาที	87.81	5.72
	1,900 รอบต่อนาที	82.14	7.76
100 เซนติเมตร	1,300 รอบต่อนาที	85.79	5.51
	1,600 รอบต่อนาที	88.10	5.51
	1,900 รอบต่อนาที	86.71	5.75

แค่แรงโน้มถ่วงเท่านั้น จึงทำให้แรงที่ได้รับไม่เพียงพอที่จะกดให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังปักลงดิน



รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้งของเครื่องต้นแบบ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.14 พบว่าเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้งมีเปอร์เซ็นต์ปักตั้งสำเร็จใกล้เคียงกันทุกความเร็วรถแทรกเตอร์ เนื่องจากปัจจัยดังนี้

1. การหมุนของชุดปักท่อนพันธุ์จะใช้มอเตอร์กระแสตรงในการขับชุดปักท่อนพันธุ์ ซึ่งจะส่งผลให้ทุกความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์จะไม่ส่งผลต่อความเร็วรอบของชุดปักท่อนพันธุ์ หากชุดปักท่อนพันธุ์ใช้เพลาอำนวยกำลัง (Power Take Off) ของรถแทรกเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการปักท่อนพันธุ์ ความเร็วรอบการหมุนของชุดปักท่อนพันธุ์จะแปรผันตามความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์

2. ลักษณะทางกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ก่อนทำการปลูก โดยใช้เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบจะต้องทำการตัดและคัดท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่มีลักษณะท่อนพันธุ์ที่ตรงบิดงอไม่เกินขนาดท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว เพื่อให้สามารถสวมใส่กับท่อพีวีซีได้ ดังนั้นท่อนพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกมาจะมีลักษณะลำท่อนที่ตรงส่งผลให้ชุดปักท่อนพันธุ์หมุนปักท่อนพันธุ์ในแนวตั้งฉาก หากท่อนพันธุ์ที่มีการบิดงอจะทำให้ท่อนพันธุ์เอียงตั้งแต่ชุดปักท่อนพันธุ์ก่อนลงปักในดิน

3. ขนาดของก้อนดินที่แตกต่างกัน เนื่องจากแปลงทดลองสภาพดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวสีแดงส่งผลต่อท่อนพันธุ์บางท่อนที่ปักเจอก้อนดินขนาดใหญ่จะไม่สามารถปักลงได้ และในทางตรงกันข้ามหากท่อนพันธุ์ปักบนก้อนดินขนาดเล็กจะทำให้ท่อนพันธุ์ปักลงได้

4. ระยะห่างของชุดปักท่อนพันธุ์มีขนาดมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ส่งผลให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไม่ได้รับแรงกระทำจากชุดปักท่อนพันธุ์

4.4.2 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก

เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึกจะคำนวณจากท่อนพันธุ์ที่ชุดปักท่อนพันธุ์ปักลงดินที่มีความลึกจากดินลงไปมากกว่า 8 เซนติเมตร โดยเก็บผลความลึกจากท่อนพันธุ์ที่ปลูกจำนวน 14 แถวต่อ 1 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15

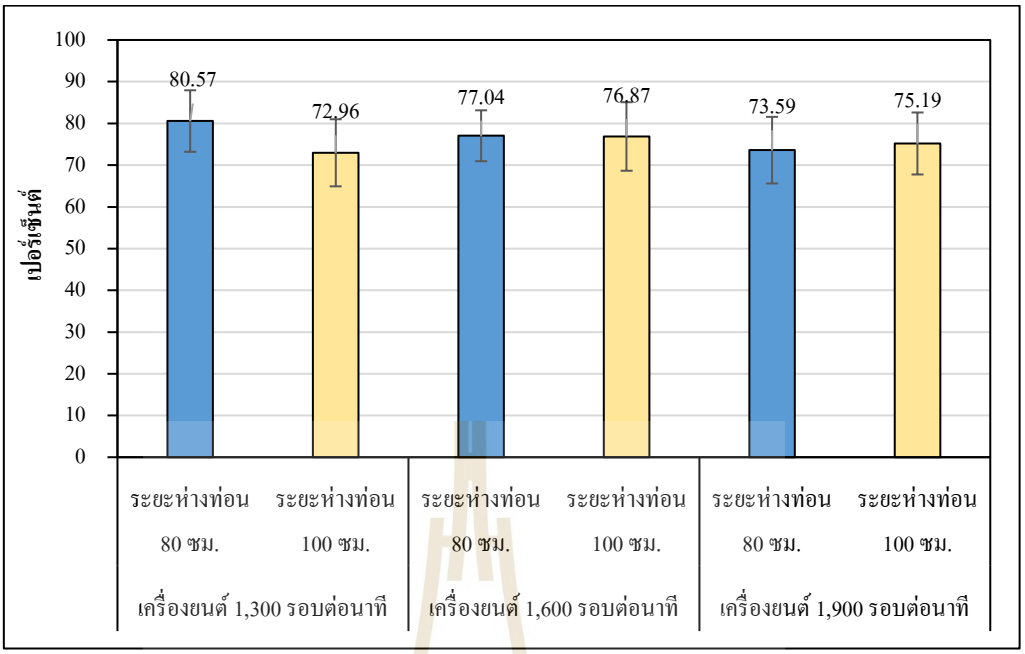
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก

ระยะห่างท่อนพันธุ์ (เซนติเมตร)	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)	ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80	1,300	80.57	7.37
	1,600	77.04	6.10
	1,900	73.59	7.98
100	1,300	72.96	8.04
	1,600	76.87	8.21
	1,900	75.19	7.43

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15 พบว่า เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึกมีเปอร์เซ็นต์ปักลึกสำเร็จใกล้เคียงกันทุกความเร็วรถแทรกเตอร์ เนื่องจากปัจจัยดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ก่อนทำการปลูกโดยใช้เครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบจะต้องทำการตัดและคัดท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่มีลักษณะท่อนพันธุ์ที่ตรงและความยาวท่อนพันธุ์ไม่เกิน 25 เซนติเมตรเพื่อให้สวมใส่ท่อพีวีซีได้ จึงส่งผลให้ความยาวของแต่ละท่อนมีความยาวที่สม่ำเสมอเมื่อชุดปักท่อนพันธุ์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่จากมอเตอร์กระแสตรงทำให้ท่อนพันธุ์ปักได้ความลึกที่สม่ำเสมอ

2. ขนาดของก้อนดินที่แตกต่างกัน เนื่องจากแปลงทดลองสภาพดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวสีแดงส่งผลต่อท่อนพันธุ์บางท่อนที่ปักเจอก้อนดินขนาดใหญ่จะปักได้ตื้น และในทางตรงกันข้ามหากท่อนพันธุ์ปักบนก้อนดินขนาดเล็กจะทำให้ท่อนพันธุ์ปักลงได้ลึกกว่า



รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึกของเครื่องต้นแบบ

4.4.3 เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหาย

เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหายจะคำนวณปริมาณตา (Bud) ที่อยู่บนท่อนพันธุ์ที่ได้รับแรงจากอุปกรณ์ปักท่อนพันธุ์จนทำให้ตาหลุดออกจากท่อนพันธุ์ โดยเก็บผลตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหายจากท่อนพันธุ์จำนวน 14 แถวต่อ 1 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหาย

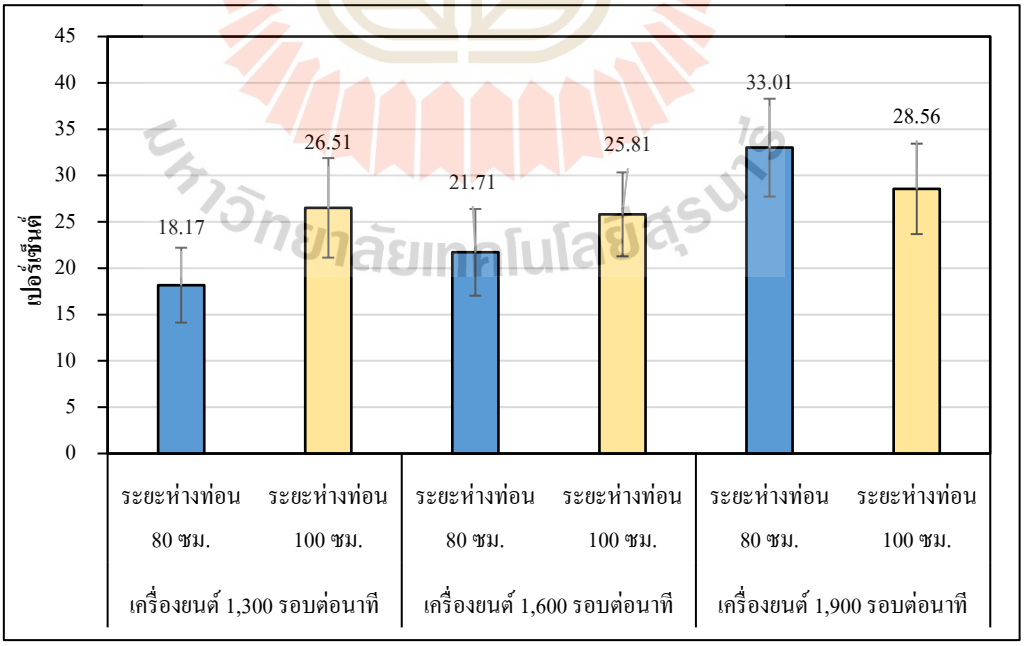
ระยะห่างท่อนพันธุ์ (เซนติเมตร)	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)	ตาท่อนพันธุ์เสียหาย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80	1,300	18.17	4.04
	1,600	21.71	4.68
	1,900	33.01	5.28
100	1,300	26.51	5.37
	1,600	25.81	4.53
	1,900	28.56	4.88

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.16 พบว่า เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหายมีเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่าง เนื่องจากปัจจัยดังนี้

1. ขนาดของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง โดยปกติลำต้นมันสำปะหลังส่วนโคนต้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าส่วนปลายของลำต้น แต่ระยะห่างของชุดปักท่อนพันธุ์จะมีระยะคงที่หากท่อนพันธุ์ที่มีขนาดมากกว่าระยะห่างของชุดปักท่อนพันธุ์ จะอาศัยระยะยุบตัวของยางปักท่อนพันธุ์ให้ขยายช่องว่างของชุดปักท่อนพันธุ์ให้มากขึ้นเพื่อลดโอกาสที่ชุดปักท่อนพันธุ์กดทับตา (Bud) บนท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ถ้าหากยางปักท่อนพันธุ์มีความยืดหยุ่นไม่มากพอที่จะขยายให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังผ่านไปได้ ชุดปักท่อนพันธุ์ก็จะกดทับตา (Bud) บนท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

2. ลักษณะทางกายภาพของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่บิดงอ เมื่อท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่บิดงดจะมีรัศมีความโค้งจะทำให้ส่วนโค้งของลำต้นโดนชุดปักท่อนพันธุ์กดทับตา (Bud) บนท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

3. การออกแบบขีดจำกัดความเร็วรอบการหมุนชุดปักท่อนพันธุ์ จากการทดสอบท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยวิธี Ballistic Pendulum พบว่า ผลของแรงกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังรับได้โดยที่ตา (Bud) บนท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไม่เสียหายคือ 1.071 จูล หรือเท่ากับความเร็วรอบการหมุนของชุดปักท่อนพันธุ์ไม่เกิน 600 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์ที่เสียหายของเครื่องต้นแบบ

4.4.4 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูกจะคำนวณจากระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ปักลงดินซึ่งมีความคลาดเคลื่อนกว่าระยะการปักท่อนพันธุ์ ± 10 เซนติเมตร โดยเก็บผลความผิดพลาดการปลูกจำนวน 14 แถวต่อ 1 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก

ระยะห่างท่อนพันธุ์ (เซนติเมตร)	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)	ความผิดพลาดการปลูก (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80	1,300	22.79	6.55
	1,600	73.96	8.86
	1,900	78.92	7.88
100	1,300	18.56	4.60
	1,600	26.71	6.39
	1,900	66.73	9.56

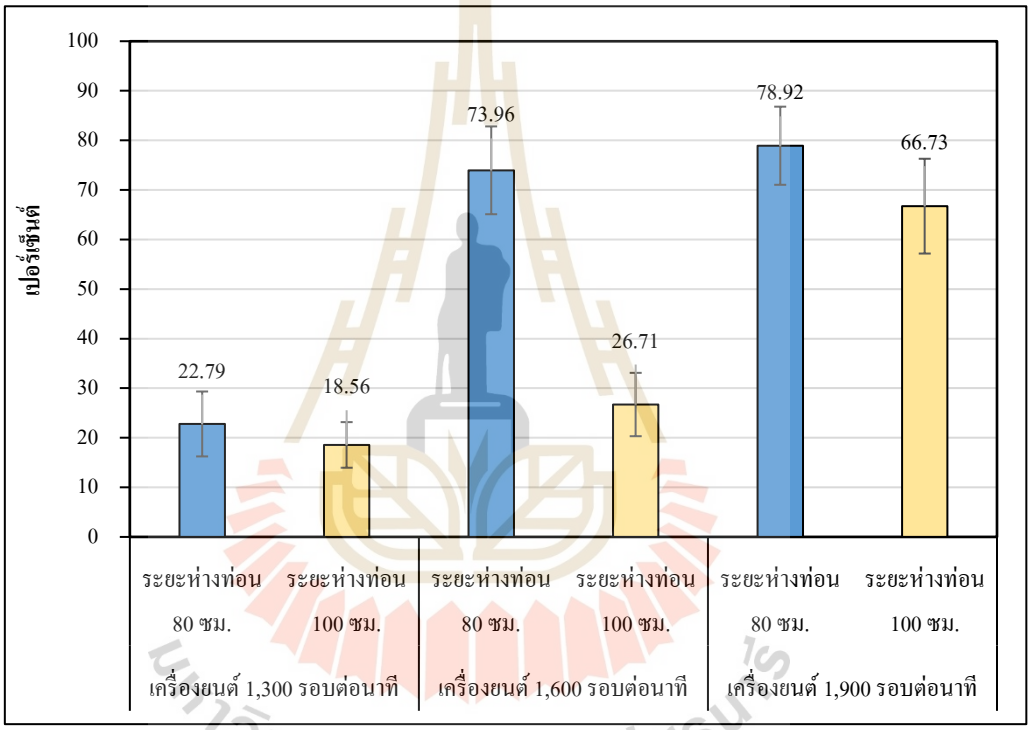
จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.17 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดการปลูก มีเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างเนื่องจากปัจจัยดังนี้

1. ชุดลำเลียงท่อนพันธุ์ส่งท่อนท่อนพันธุ์มันสำปะหลังมาชุดปักท่อนพันธุ์ไม่ทัน เนื่องจากชุดลำเลียงท่อนพันธุ์จะใช้เวลา 4.5 วินาทีต่อ 1 รอบการทำงาน ดังนั้นระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ใช้เวลาการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์น้อยกว่า 4.5 วินาที จะทำให้ชุดลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไม่สามารถลำเลียงท่อนพันธุ์ได้ทันการทำงานของชุดปักท่อนพันธุ์ทำงานจึงทำให้ระยะการปลูกคลาดเคลื่อน

2. ชุดลำเลียงท่อนพันธุ์ไม่ส่งท่อนพันธุ์มาชุดปักท่อนพันธุ์ กลไกการทำงานของชุดลำเลียงท่อนพันธุ์จะใช้มอเตอร์หมุนอุปกรณ์ลำเลียงเพื่อส่งท่อพีวีซีที่บรรจุท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไว้มายังตำแหน่งที่กำหนด เมื่อท่อพีวีซีมาถึงจุดที่กำหนด กระบอกลมจะทำการกระทุ่งท่อนพันธุ์มันออกจากท่อพีวีซีไปยังชุดปักท่อนพันธุ์ ในกรณีที่ท่อพีวีซีที่บรรจุท่อนพันธุ์ไว้เคลื่อนที่มายังตำแหน่งที่กำหนดแล้ว แต่เซ็นเซอร์แสง (Laser Sensor) ไม่สามารถตรวจจับได้ จึงทำให้มอเตอร์ชุดลำเลียงท่อนพันธุ์ไม่หยุดหมุนจึงทำให้เวลาในการลำเลียงรอบนั้นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งไม่สามารถส่งท่อนพันธุ์ไปชุดปักท่อนพันธุ์ได้ตามเวลาที่ต้องการ

3. หน้าดินไม่สม่ำเสมอ ทำให้ล้อวัดระยะที่ทำการติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์เซ็นเซอร์ (Encoder Sensor) ไม่สัมผัสกับผิวดินหรือวัดระยะความสูงของผิวดินแทนระยะการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า จึงทำให้ระยะการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่นับจากเอ็นโค้ดเดอร์เซ็นเซอร์ (Encoder Sensor) มีระยะคลาดเคลื่อน

4. สัญญาณรบกวนเอ็นโค้ดเดอร์เซ็นเซอร์ (Encoder Sensor) ในบางครั้งที่ชุดกำเนิดลมอัด (Air Compressor) ทำงานจะมีสัญญาณรบกวนส่งเข้ามาที่อุปกรณ์โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ (PLC) ทำให้อุปกรณ์นับสัญญาณรบกวนที่ส่งเข้ามาเป็นระยะการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูกของเครื่องต้นแบบ

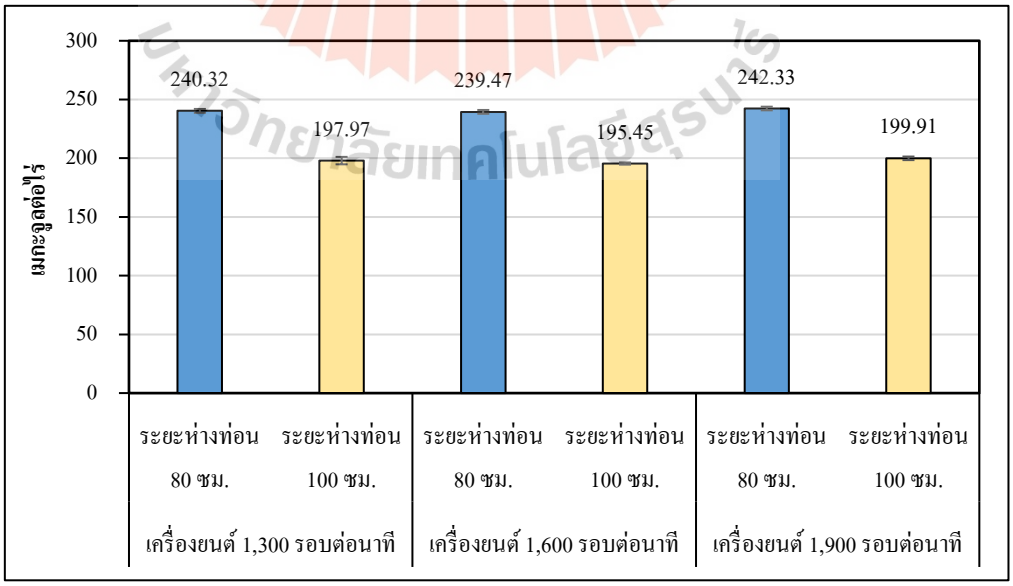
4.4.5 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจะคำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยการอ่านค่าจากเพาเวอร์มิเตอร์เทียบกับพื้นทำงาน โดยเก็บผลอัตราการใช้พลังงานจากการปลูกท่อนพันธุ์ที่ปลูกโดยเครื่องต้นแบบจำนวน 14 แถวต่อ 1 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

ระยะห่างท่อนพันธุ์ (เซนติเมตร)	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)	อัตราการใช้พลังงาน (MJ/ไร่)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80	1,300	240.32	1.64
	1,600	239.47	1.62
	1,900	242.33	1.55
100	1,300	197.97	3.17
	1,600	195.45	0.91
	1,900	199.91	1.52

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.18 พบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อทำการปักท่อนพันธุ์ที่ระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์เท่ากันแต่ความเร็วรถแทรกเตอร์ต่างกันจะมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน เนื่องจากอัตราการใช้พลังงานที่ใช้ส่วนมากของเครื่องปลูกมันสำปะหลังจะใช้พลังงานมากที่สุด คือ การทำงานของชุดลมอัด (Air Compressor) เมื่อระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่มีค่าน้อยจะส่งผลให้กลไกการทำงานของกระบอกลมทำงานถี่ขึ้น จึงส่งผลให้ระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ 80 เซนติเมตร จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.18 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบ

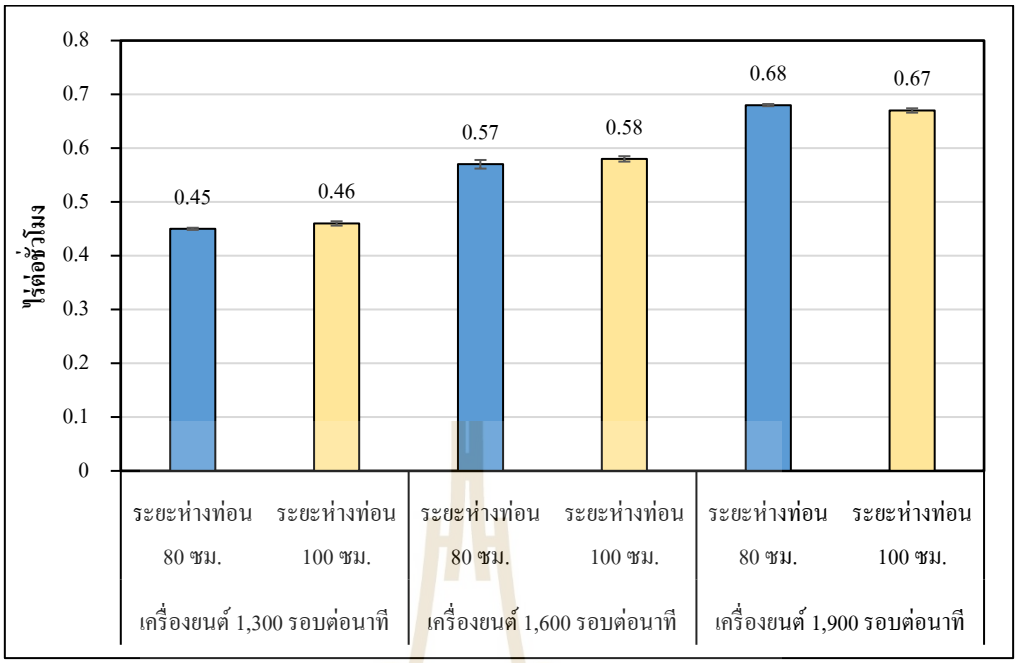
4.4.6 ความสามารถในการทำงาน

ความสามารถในการทำงานจะคำนวณจากพื้นที่การทำงานเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ โดยเก็บผลความสามารถในการทำงานจากการปลูกท่อนพันธุ์ที่ปลูกโดยเครื่องต้นแบบจำนวน 14 แถวต่อ 1 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองความสามารถในการทำงาน

ระยะห่างท่อนพันธุ์ (เซนติเมตร)	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)	ความสามารถในการทำงาน (ไร่/ชั่วโมง)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80	1,300	0.45	0.002
	1,600	0.57	0.008
	1,900	0.68	0.002
100	1,300	0.46	0.004
	1,600	0.58	0.005
	1,900	0.67	0.004

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.19 พบว่า ความสามารถในการทำงานมากที่สุด คือ การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ด้วยความเร็ว 30 เซนติเมตรต่อวินาที ทั้งระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ 80 เซนติเมตรและ 100 เซนติเมตร โดยความสามารถในการทำงานน้อยที่สุดคือ การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ด้วยความเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที ทั้งระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ที่ 80 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร ซึ่งปัจจัยของระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์จะไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องปลูกมันสำปะหลัง แต่ปัจจัยของระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์จะส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการปลูก



รูปที่ 4.19 ความสามารถในการทำงานของเครื่องต้นแบบ

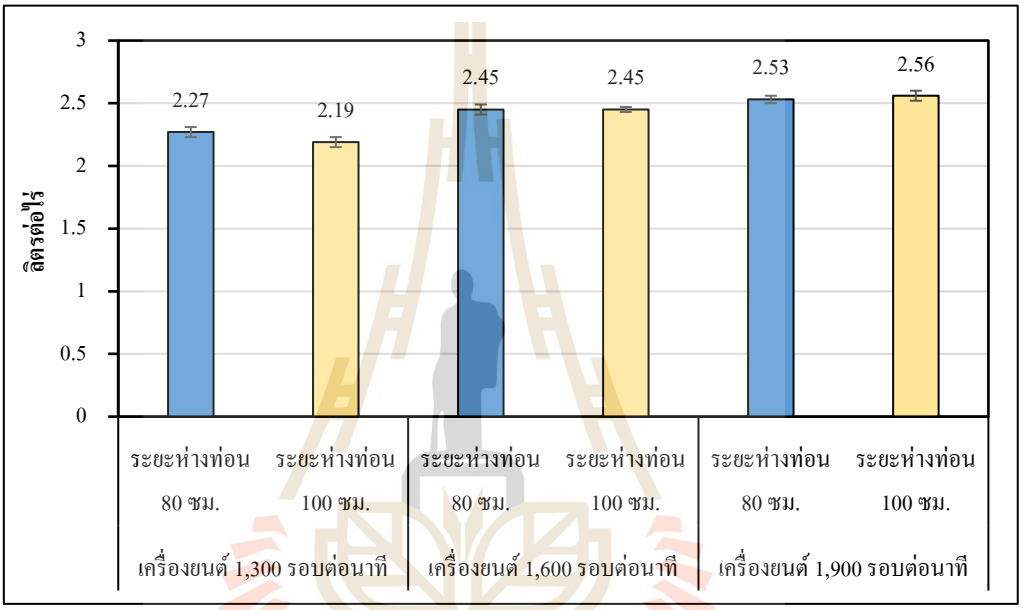
4.4.7 อัตราการใช้เชื้อเพลิง

อัตราการใช้เชื้อเพลิงจะคำนวณจากอัตราการใช้เชื้อเพลิงเทียบกับพื้นที่การทำงานของรถแทรกเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองอัตราการใช้เชื้อเพลิง

ระยะห่างท่อนพันธุ์ (เซนติเมตร)	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ไร่)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80	1,300	2.27	0.04
	1,600	2.45	0.04
	1,900	2.53	0.03
100	1,300	2.19	0.04
	1,600	2.45	0.02
	1,900	2.56	0.04

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.20 พบว่า อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตรกับ 100 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วรถแทรกเตอร์เท่ากัน อัตราการใช้เชื้อเพลิงจะใกล้เคียงกัน เนื่องจากกลไกการทำงานของเครื่องปลูกมันสำปะหลังไม่ได้ใช้ต้นกำลังจากรถแทรกเตอร์แต่อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันเนื่องจากการเร่งรอบเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ความเร็วการเคลื่อนที่ของแทรกเตอร์ที่กำหนด จึงทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 4.20 อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้วผลการทดสอบระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร มีเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมต่อการปลูกดังนี้

1. ระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที (0.72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง 90.24 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก 80.57 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์เสียหาย 18.17 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก 22.79 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 66.78 กิโลวัตต์ต่อไร่ ความสามารถในการทำงาน 0.45 ไร่ต่อชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.5 ลิตรต่อไร่

2. ระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที (0.72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้ง 85.79 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักลึก 72.96 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ตาบนท่อนพันธุ์เสียหาย 26.51 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการปลูก 18.56 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 54.99 กิโลวัตต์ต่อไร่ ความสามารถในการทำงาน 0.46 ไร่ต่อชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.5 ลิตรต่อไร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบความสามารถในการทำงานเครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบมีความสามารถในการทำงาน 0.45 ไร่ต่อชั่วโมง ซึ่งปัจจัยหลักมาจากกลไกการลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลังใช้เวลา 4.5 วินาทีต่อรอบการทำงาน การเพิ่มกลไกการลำเลียงท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ต่อรอบการทำงานลดลงซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์ท่อนพันธุ์ที่ปักตั้งที่มีความผันผวนของผลการทดลองเนื่องจากปัจจัยหลัก คือ ความชื้นของดิน และประเภทของดิน ซึ่งในงานวิจัยนี้แปลงทดลองมีลักษณะดินเป็นดินเหนียวแดง ซึ่งเนื้อดินจะมีลักษณะเป็นก้อนเล็กและก้อนใหญ่ผสมกัน เมื่อท่อนพันธุ์ปักลงดินก้อนใหญ่จะทำให้ท่อนพันธุ์ไม่สามารถปักลงดินได้ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การปักตั้งของท่อนพันธุ์มีความผันผวน ดังนั้น

ควรเพิ่มการทดสอบค่าการแทงทะลุของดิน และเพิ่มการสอบในดินที่มีลักษณะเป็นดินร่วนซึ่งท่อนพันธุ์จะปักง่ายกว่าเนื้อดินเหนียวจะส่งผลให้ความผันผวนลดลงและเพิ่มเปอร์เซ็นต์การปักตั้ง

รายการอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (2546). **มันสำปะหลัง**. แหล่งที่มา:http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical06013.pdf เข้าถึงออนไลน์เมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2560.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, วลัยพร ศะศิประภา, นาวี จิระชีวี, ก้อนทอง พัวประโคน, โสภิตา สมคิด, นาฏญา โสภา, รังษี เจริญสถาพร, เบญจมาศ คำสืบ, นรีลักษณ์ วรรณสาย และอนุชิต ฉ่ำสิงห์. (2554). **ดิน น้ำ และการจัดการปลูกมันสำปะหลัง**. สถาบันวิจัยพืชไร่. 48 หน้า.

เชิดศักดิ์ ศิริหล้า, ปิยะณัฐ สิทธิ และยุทธศักดิ์ พิมสาร. (2555). เครื่องปลูกมันสำปะหลัง. **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 13**.

ฐิฆัมพร เชียงอั๋ง, นิลุบล เชียงอั๋ง และปาริศชาฎ มะยะเฉียว. (2553). การออกแบบและพัฒนาชุดปลูกมันสำปะหลังแบบปัก. **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนากร แนวกลาง, เทวรัตน์ ตรีอำนนรค, วีรชัย อาจหาญ และกระวี ตรีอำนรรค. (2558). การทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีการทดสอบแบบ Ballistic Pendulum. **การประชุมวิชาการสมคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16**.

ประสาท แสงพันธุ์ตา, อนุชิต ฉ่ำสิงห์, คุรุวรรณ์ ภามาตย์, วุฒิพล จันทร์สระคู, ศักดิ์ชัย อาษาวัง, สิทธิชัย ดาศรี, ดนัย ศาลทูลพิทักษ์ และสุชาติ สุขนิยม. (2556). การออกแบบและพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์. **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7**.

รังสรรค์ กุฎสำโรง และวินัย กล้าจริง. (2558). การศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลัง. **การประชุมวิชาการสมคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16.**

รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, จตุรงค์ ลังกาพันธุ์ และมานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2553). **การพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลัง**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สรรเสริญ สุนทรทยาภิรมณ์. (2558). **การปลูกมันสำปะหลังสะอาดเพื่อการขยายพันธุ์**. ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลัง (แห่งประเทศไทย). 8 หน้า.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). สถิติการเพาะปลูกมันสำปะหลังปี พ.ศ. 2558 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th. เข้าถึงออนไลน์เมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2560.

Zhong Xue, Jin Zhang, Yanlin Zhang, Chengbin Li, Shi Chen and Dengqing Song. (2016). Research on the mechanical properties of the cassava stem. **Advance Journal of Food Science and Technology**, 10(10): 763-769.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum Test)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 10 ส่วนโคนลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	9.45	8.67	0.78	10	4.0
2	9.23	8.12	1.11	10	3.2
3	8.12	6.78	1.34	10	2.3
4	8.56	7.20	1.36	10	2.1
5	7.20	6.83	0.37	10	3.6
6	6.90	6.12	0.78	10	4.0
7	8.56	7.23	1.33	10	2.8
8	8.73	7.21	1.52	10	2.2
9	8.90	8.16	0.74	10	3.4
10	8.52	7.23	1.29	10	2.9
11	9.12	7.85	1.27	10	3.0
12	8.12	6.20	1.92	10	3.2
13	8.56	8.23	0.33	10	4.2
14	8.12	6.91	1.21	10	2.4
15	8.01	7.12	0.89	10	3.8
16	8.34	7.45	0.89	10	2.5
17	8.23	7.23	1.00	10	3.2
18	8.89	7.23	1.66	10	2.8
19	8.10	7.20	0.90	10	4.3
20	9.40	8.12	1.28	10	2.9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 10 ส่วนกลางลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	8.32	5.93	2.39	10	2.2
2	8.12	5.89	2.23	10	2.4
3	8.56	6.89	1.67	10	3.2
4	7.98	7.02	0.96	10	3.8
5	8.32	7.89	0.43	10	4.2
6	7.54	6.89	0.65	10	4.0
7	8.12	7.05	1.07	10	2.8
8	7.19	6.34	0.85	10	4.2
9	7.32	5.87	1.45	10	3.2
10	8.43	5.29	3.14	10	2.1
11	6.01	4.53	1.48	10	2.8
12	7.11	6.12	0.99	10	3.8
13	7.45	6.24	1.21	10	3.2
14	7.32	5.34	1.98	10	3.3
15	7.23	4.89	2.34	10	2.6
16	7.49	4.88	2.61	10	2.3
17	8.54	5.93	2.61	10	2.0
18	8.12	6.39	1.73	10	3.0
19	8.34	6.23	2.11	10	2.1
20	8.21	5.95	2.26	10	2.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 10 ส่วนปลายลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	6.54	5.34	1.20	10	3.4
2	7.32	4.53	2.79	10	2.2
3	8.45	6.23	2.22	10	2.0
4	8.67	6.78	1.89	10	3.2
5	7.43	5.43	2.00	10	2.0
6	7.23	5.32	1.91	10	3.2
7	6.89	5.12	1.77	10	3.2
8	5.67	3.78	1.89	10	3.4
9	5.89	4.53	1.36	10	3.0
10	6.54	4.56	1.98	10	3.8
11	6.48	5.20	1.28	10	4.0
12	6.80	5.33	1.47	10	3.3
13	6.95	4.39	2.56	10	2.9
14	7.32	5.43	1.89	10	2.5
15	7.89	6.35	1.54	10	2.7
16	7.54	6.49	1.05	10	2.8
17	6.54	4.78	1.76	10	2.9
18	8.54	7.33	1.21	10	3.3
19	8.13	5.32	2.81	10	2.7
20	7.21	4.23	2.98	10	2.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 15 ส่วนโคนลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	9.12	8.23	0.89	15	3.6
2	9.25	8.45	0.80	15	3.8
3	8.95	7.98	0.97	15	3.8
4	8.45	7.12	1.33	15	2.2
5	9.23	8.12	1.11	15	2.0
6	8.12	6.90	1.22	15	2.4
7	8.44	7.23	1.21	15	2.5
8	8.65	7.45	1.20	15	2.4
9	8.02	6.78	1.24	15	2.4
10	9.12	8.23	0.89	15	2.0
11	7.87	6.92	0.95	15	2.0
12	8.65	7.12	1.53	15	2.7
13	8.12	6.78	1.34	15	2.7
14	7.91	6.40	1.51	15	2.8
15	7.81	6.84	0.97	15	3.8
16	8.89	7.35	1.54	15	2.8
17	8.92	7.65	1.27	15	2.5
18	8.19	7.54	0.65	15	2.0
19	8.53	6.87	1.66	15	2.6
20	9.20	7.12	2.08	15	3.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.5 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 15 ส่วนกลางลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	8.45	6.23	2.22	15	3.8
2	8.54	6.21	2.33	15	4.0
3	9.19	8.12	1.07	15	2.6
4	8.12	6.10	2.02	15	2.9
5	6.93	5.12	1.81	15	2.2
6	7.34	4.90	2.44	15	3.7
7	8.12	6.12	2.00	15	2.8
8	8.92	6.22	2.70	15	2.2
9	8.54	7.10	1.44	15	2.0
10	7.23	6.23	1.00	15	2.1
11	7.01	6.21	0.80	15	2.0
12	7.34	5.21	2.13	15	2.7
13	8.29	5.20	3.09	15	2.0
14	8.97	6.23	2.74	15	2.4
15	9.01	5.45	3.56	15	2.1
16	7.32	4.88	2.44	15	2.1
17	7.21	6.23	0.98	15	1.9
18	6.88	5.21	1.67	15	2.9
19	7.12	5.12	2.00	15	3.1
20	7.45	5.56	1.89	15	2.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 15 ส่วนปลายลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	8.14	6.45	1.69	15	2.1
2	8.12	5.23	2.89	15	2.6
3	7.32	4.12	3.20	15	2.9
4	7.44	6.10	1.34	15	4.0
5	6.98	5.23	1.75	15	4.3
6	6.90	5.12	1.78	15	4.1
7	6.92	3.19	3.73	15	2.1
8	7.12	5.46	1.66	15	3.1
9	7.04	5.67	1.37	15	2.8
10	6.90	5.11	1.79	15	2.5
11	7.45	5.22	2.23	15	2.9
12	7.78	4.87	2.91	15	4.0
13	8.10	4.90	3.20	15	3.3
14	7.33	5.11	2.22	15	3.0
15	7.01	5.21	1.80	15	2.5
16	6.80	4.10	2.70	15	2.3
17	5.90	3.92	1.98	15	2.5
18	6.12	3.67	2.45	15	3.1
19	6.21	5.12	1.09	15	3.7
20	5.10	3.19	1.91	15	2.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 20 ส่วนโคนลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	8.54	7.23	1.31	20	2.6
2	8.67	6.56	2.11	20	3.0
3	8.95	7.32	1.63	20	3.2
4	8.23	7.11	1.12	20	3.2
5	7.65	6.21	1.44	20	2.7
6	9.23	8.33	0.90	20	2.4
7	6.78	5.43	1.35	20	2.8
8	7.89	6.56	1.33	20	3.4
9	7.23	6.11	1.12	20	2.0
10	8.34	6.34	2.00	20	2.3
11	8.56	7.9	0.66	20	2.8
12	8.76	6.45	2.31	20	3.2
13	8.54	7.23	1.31	20	3.4
14	7.34	6.43	0.91	20	2.4
15	9.54	7.45	2.09	20	3.8
16	7.42	6.55	0.87	20	2.8
17	7.44	6.01	1.43	20	3.4
18	8.96	5.98	2.98	20	2.0
19	8.32	7.55	0.77	20	2.9
20	8.23	7.11	1.12	20	2.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 20 ส่วนกลางลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	9.12	6.85	2.27	20	2.2
2	8.96	7.11	1.85	20	2.6
3	8.56	6.73	1.83	20	2.4
4	7.89	6.21	1.68	20	2.1
5	7.90	5.87	2.03	20	2.8
6	8.12	5.90	2.22	20	2.4
7	8.45	5.87	2.58	20	2.5
8	7.89	6.11	1.78	20	3.2
9	7.07	4.50	2.57	20	2.8
10	7.87	4.35	3.52	20	2.6
11	6.62	4.15	2.47	20	2.5
12	7.82	5.62	2.20	20	2.3
13	9.62	5.28	4.34	20	2.3
14	7.22	5.21	2.01	20	2.0
15	7.88	7.34	0.54	20	2.8
16	7.94	5.24	2.70	20	2.1
17	7.83	6.14	1.69	20	3.4
18	8.32	5.89	2.43	20	2.2
19	8.10	5.45	2.65	20	2.0
20	8.22	5.56	2.66	20	2.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.9 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 20 ส่วนปลายลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	8.76	5.12	3.64	20	2.2
2	8.21	5.12	3.09	20	2.4
3	8.32	5.78	2.54	20	3.8
4	7.98	5.20	2.78	20	4.0
5	7.89	5.23	2.66	20	3.6
6	8.67	6.21	2.46	20	3.2
7	8.90	5.87	3.03	20	2.5
8	8.60	6.10	2.50	20	2.8
9	7.23	5.17	2.06	20	2.4
10	7.88	5.34	2.54	20	2.8
11	7.10	4.96	2.14	20	2.0
12	6.80	5.02	1.78	20	4.0
13	6.90	4.67	2.23	20	3.4
14	7.20	4.78	2.42	20	3.0
15	7.10	4.90	2.20	20	3.4
16	6.90	4.78	2.12	20	3.6
17	8.12	4.67	3.45	20	2.2
18	8.06	6.04	2.02	20	3.4
19	7.92	5.21	2.71	20	2.9
20	7.94	5.12	2.82	20	2.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 การทดลองที่ 1 มุมตกกระทบ 25 ส่วนโคนลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	7.21	2.56	4.65	25	3.0
2	6.54	2.79	3.75	25	3.0
3	8.56	3.02	5.54	25	3.0
4	6.31	3.67	2.64	25	4.0
5	8.12	3.72	4.40	25	3.0
6	7.32	2.45	4.87	25	2.0
7	6.78	2.81	3.97	25	2.0
8	8.32	3.09	5.23	25	4.0
9	8.12	3.86	4.26	25	3.0
10	6.44	3.45	2.99	25	5.0
11	7.34	5.43	1.91	25	4.0
12	6.78	4.43	2.35	25	3.0
13	8.02	5.89	2.13	25	3.0
14	6.12	3.05	3.07	25	5.0
15	6.23	3.12	3.11	25	2.0
16	8.2	4.12	4.08	25	3.0
17	7.51	4.35	3.16	25	4.0
18	8.23	5.34	2.89	25	2.0
19	6.44	3.31	3.13	25	3.0
20	6.89	3.54	3.35	25	4.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 การทดลองที่ 2 มุมตกกระทบ 25 ส่วนกลางลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	8.21	4.01	4.20	25	3.0
2	7.45	4.23	3.22	25	4.0
3	8.21	4.32	3.89	25	3.0
4	6.34	2.78	3.56	25	4.0
5	6.78	3.02	3.76	25	4.0
6	8.18	3.82	4.36	25	3.0
7	7.49	2.98	4.51	25	3.0
8	8.11	5.23	2.88	25	3.0
9	6.23	2.83	3.40	25	4.0
10	6.64	3.11	3.53	25	4.0
11	6.89	2.53	4.36	25	3.0
12	6.21	2.91	3.30	25	4.0
13	8.01	3.56	4.45	25	3.0
14	7.50	3.92	3.58	25	4.0
15	8.03	3.88	4.15	25	3.0
16	7.32	3.05	4.27	25	3.0
17	8.11	4.32	3.79	25	4.0
18	6.45	2.56	3.89	25	4.0
19	6.89	2.98	3.91	25	4.0
20	8.04	3.79	4.25	25	4.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 การทดลองที่ 3 มุมตกกระทบ 25 ส่วนปลายลำต้น

ตัวอย่าง	ความยาวรอยแผลใบ (มม.)			มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อนกลับ (องศา)
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
1	8.17	3.69	4.48	25	3.0
2	7.29	2.41	4.88	25	4.0
3	6.50	2.59	3.91	25	4.0
4	6.36	3.18	3.18	25	5.0
5	8.64	2.97	5.67	25	5.0
6	8.23	3.67	4.56	25	4.0
7	7.33	2.45	4.88	25	5.0
8	6.34	2.67	3.67	25	4.0
9	8.23	3.21	5.02	25	4.0
10	6.50	2.80	3.70	25	4.0
11	8.12	3.01	5.11	25	5.0
12	6.78	3.12	3.66	25	4.0
13	6.51	2.78	3.73	25	4.0
14	7.32	2.36	4.96	25	4.0
15	8.01	3.70	4.31	25	4.0
16	8.02	3.71	4.31	25	5.0
17	7.32	2.44	4.88	25	5.0
18	6.61	2.62	3.99	25	5.0
19	6.31	3.11	3.20	25	5.0
20	8.54	3.06	5.48	25	5.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองเครื่องปลูกมันสำปะหลังสำหรับท่อนพันธุ์ที่ตัดแล้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 การทดลองที่ 1 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	5.05	70	65	61	10	22	2.48
2	5.11	65	63	63	14	19	2.52
3	5.04	60	55	50	16	16	2.40
4	5.10	67	61	58	12	15	2.56
5	5.05	62	57	51	12	13	2.46
6	5.03	68	54	50	16	11	2.55
7	5.05	71	67	60	10	17	2.48
8	4.50	65	54	50	9	18	2.56
9	5.08	69	59	51	13	16	2.43
10	5.10	68	61	56	12	15	2.56
11	5.03	67	64	59	12	22	2.55
12	4.50	66	65	58	11	19	2.51
13	5.03	65	59	51	14	14	2.58
14	5.13	62	58	51	12	16	2.61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.2 การทดลองที่ 2 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	5.10	72	69	60	9	22	2.54
2	5.12	72	70	68	10	18	2.45
3	5.04	70	64	61	12	22	2.56
4	4.50	68	60	53	17	7	2.44
5	5.10	64	59	50	12	11	2.54
6	5.09	72	62	60	14	10	2.41
7	5.02	70	61	57	14	8	2.40
8	5.08	70	67	61	12	19	2.48
9	4.55	63	60	56	12	14	2.51
10	4.50	69	60	54	12	15	2.56
11	5.04	71	62	55	16	12	2.48
12	5.12	70	69	61	14	15	2.34
13	5.10	70	64	62	16	12	2.49
14	5.05	72	69	62	10	8	2.51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.3 การทดลองที่ 3 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกถูกตามเกณฑ์ (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	5.05	70	62	58	12	11	2.45
2	5.12	71	61	52	8	19	2.56
3	5.08	69	58	50	12	8	2.57
4	4.55	60	59	51	13	22	2.45
5	5.15	62	53	49	5	15	2.41
6	5.10	64	58	42	9	15	2.54
7	5.04	62	52	50	13	16	2.48
8	5.12	68	60	51	15	10	2.54
9	5.10	71	61	52	12	18	2.56
10	5.12	69	58	51	16	19	2.58
11	5.02	64	60	48	9	12	2.48
12	4.59	62	54	48	7	22	2.41
13	5.04	61	51	41	15	14	2.60
14	5.08	67	58	40	12	21	2.55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.4 การทดลองที่ 4 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	4.14	65	61	51	13	48	2.45
2	4.10	62	59	51	12	44	2.51
3	4.05	61	53	46	18	52	2.56
4	3.55	58	51	44	7	42	2.47
5	4.11	61	54	41	4	46	2.61
6	3.50	59	48	45	16	42	2.45
7	4.04	55	49	43	13	39	2.48
8	4.10	51	41	35	12	33	2.40
9	4.15	50	43	34	10	34	2.41
10	3.53	54	45	38	13	45	2.45
11	3.51	52	48	41	12	48	2.40
12	4.13	63	53	46	15	45	2.42
13	4.08	55	41	39	12	52	2.47
14	4.06	62	51	43	5	54	2.51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.5 การทดลองที่ 5 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	4.12	63	61	60	13	47	2.56
2	4.09	64	60	52	12	45	2.64
3	4.13	62	58	51	12	37	2.36
4	4.18	65	57	50	15	43	2.46
5	4.12	58	51	47	12	47	2.54
6	3.55	65	59	50	15	42	2.51
7	4.10	62	53	45	12	54	2.43
8	4.12	58	50	45	11	38	2.56
9	3.51	59	47	41	15	42	2.43
10	4.12	49	41	39	14	43	2.66
11	4.10	54	51	48	12	33	2.41
12	4.09	58	51	41	14	41	2.46
13	4.08	45	40	33	12	34	2.48
14	4.08	58	52	46	14	44	2.56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.6 การทดลองที่ 6 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	4.18	64	61	56	13	54	2.48
2	4.10	61	60	51	14	42	2.54
3	4.03	58	51	48	12	45	2.44
4	3.54	58	53	43	16	46	2.39
5	4.13	51	50	43	14	38	2.54
6	4.08	55	50	45	13	45	2.60
7	3.49	59	49	43	16	41	2.64
8	3.51	62	49	47	13	38	2.55
9	3.55	65	50	47	16	42	2.61
10	3.51	61	58	51	13	45	2.43
11	4.05	60	51	49	11	44	2.45
12	4.10	58	50	43	13	48	2.56
13	4.15	57	50	41	12	37	2.44
14	4.10	63	51	45	10	36	2.45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.7 การทดลองที่ 7 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	3.25	45	41	38	13	39	2.54
2	3.20	41	33	31	12	34	2.45
3	3.40	40	31	30	14	38	2.48
4	3.35	42	32	31	17	34	2.54
5	3.41	47	39	28	14	34	2.60
6	3.45	42	38	27	15	37	2.61
7	3.20	49	41	37	18	36	2.38
8	3.25	42	34	28	16	34	2.36
9	3.19	41	31	27	19	35	2.44
10	3.23	41	38	31	18	36	2.51
11	3.40	42	32	29	18	33	2.56
12	3.19	42	33	27	12	42	2.43
13	3.35	47	38	31	16	35	2.63
14	3.43	41	31	27	14	33	2.65

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.8 การทดลองที่ 8 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	3.25	45	43	40	14	38	2.54
2	3.22	43	41	39	15	39	2.57
3	3.40	43	39	36	12	34	2.58
4	3.33	45	38	34	16	32	2.61
5	3.38	43	42	40	12	35	2.54
6	3.40	47	40	34	16	32	2.55
7	3.23	47	37	33	12	34	2.45
8	3.41	44	39	35	16	32	2.57
9	3.38	42	35	31	12	41	2.51
10	3.27	45	31	30	18	34	2.67
11	3.20	48	34	30	12	32	2.53
12	3.40	47	36	32	15	35	2.56
13	3.44	43	32	30	12	34	2.43
14	3.40	47	35	31	15	34	2.55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.9 การทดลองที่ 9 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 80 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	3.35	43	41	39	14	34	2.53
2	3.40	47	38	32	13	32	2.45
3	3.22	42	39	35	15	35	2.56
4	3.26	47	37	32	12	32	2.45
5	3.40	46	37	33	11	35	2.53
6	3.39	48	32	37	14	35	2.44
7	3.38	49	35	34	16	34	2.62
8	3.21	43	32	32	12	35	2.64
9	3.20	43	32	31	15	32	2.34
10	3.39	46	40	34	16	35	2.43
11	3.29	43	39	36	18	32	2.32
12	3.40	45	37	32	14	35	2.56
13	3.21	43	36	31	15	37	2.65
14	3.43	48	40	35	15	36	2.66

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.10 การทดลองที่ 10 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	5.10	54	49	46	12	9	1.89
2	5.10	51	45	41	14	6	1.98
3	5.05	49	41	36	14	9	2.01
4	4.50	53	45	39	14	11	2.11
5	4.55	51	42	31	12	12	2.14
6	5.07	56	43	37	12	9	2.07
7	5.09	53	43	35	16	9	2.04
8	4.53	51	42	37	15	6	1.89
9	4.56	48	40	31	14	8	1.93
10	5.09	53	49	34	13	12	1.99
11	5.12	51	41	32	12	11	2.04
12	5.08	54	40	33	11	12	2.15
13	4.56	53	43	36	10	8	2.03
14	4.46	50	43	45	16	6	2.09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.11 การทดลองที่ 11 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	5.04	54	50	49	11	9	2.09
2	5.10	55	51	43	15	8	2.13
3	5.12	52	49	40	16	13	2.03
4	5.03	53	43	40	20	9	2.11
5	5.10	49	46	39	13	9	2.10
6	4.53	46	41	33	13	6	1.90
7	5.12	42	39	30	16	10	2.01
8	5.05	50	41	38	13	11	2.03
9	4.49	45	43	38	12	9	1.95
10	5.08	48	41	35	17	6	2.09
11	4.56	49	40	34	12	13	2.13
12	5.10	51	42	35	11	12	2.12
13	5.11	48	41	34	16	11	2.14
14	4.53	47	40	34	17	6	1.94

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.12 การทดลองที่ 12 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 20 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	5.11	54	50	48	12	6	1.98
2	5.12	55	52	45	14	11	2.02
3	4.55	53	49	41	12	6	2.15
4	4.49	49	42	38	15	8	2.14
5	5.12	45	40	34	12	9	2.04
6	5.05	42	36	33	15	12	1.92
7	5.03	52	41	34	12	6	1.88
8	5.12	56	46	41	16	9	2.14
9	5.12	54	44	43	12	12	2.16
10	5.05	51	42	34	11	11	2.10
11	5.13	53	46	32	10	12	2.13
12	5.08	54	44	33	8	10	2.05
13	4.53	55	42	36	12	13	2.34
14	4.55	52	48	34	15	11	2.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.13 การทดลองที่ 13 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	4.05	54	50	48	12	12	1.98
2	4.12	55	51	47	14	15	2.04
3	4.08	53	53	46	14	16	2.11
4	3.55	49	43	40	12	16	2.08
5	3.50	48	45	41	12	16	1.93
6	4.12	53	52	48	16	15	1.83
7	4.08	51	40	37	13	12	2.15
8	4.10	45	42	39	15	19	2.10
9	4.08	46	42	35	13	8	2.14
10	4.09	49	43	38	12	13	2.15
11	3.52	52	48	34	15	10	2.02
12	3.56	53	49	43	13	9	1.88
13	3.50	55	44	41	12	15	2.04
14	4.06	58	46	44	11	12	1.96

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.14 การทดลองที่ 14 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	4.13	55	50	49	12	16	2.16
2	4.10	54	48	42	14	13	2.05
3	4.03	52	42	40	12	15	2.10
4	4.13	51	46	40	14	12	2.11
5	4.05	45	40	32	15	9	2.04
6	3.50	44	38	31	12	14	1.97
7	3.53	52	43	39	14	13	2.03
8	3.49	48	39	31	12	20	1.87
9	4.08	43	40	33	11	9	1.94
10	4.10	52	41	31	11	13	2.14
11	4.02	53	43	32	10	12	2.02
12	4.08	54	48	33	12	15	2.08
13	4.12	52	46	40	12	12	1.98
14	4.10	51	45	34	14	8	1.92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.15 การทดลองที่ 15 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 25 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	4.10	54	50	49	12	15	2.04
2	4.04	55	51	45	14	16	2.15
3	3.50	51	48	43	12	14	2.13
4	3.58	52	46	41	14	12	2.08
5	4.12	49	43	44	14	15	1.98
6	4.09	48	44	40	12	14	1.87
7	4.10	53	41	38	11	9	2.14
8	3.50	54	43	39	10	8	2.14
9	3.55	49	43	37	14	16	2.07
10	3.55	46	41	35	12	17	2.08
11	4.12	42	39	33	18	14	2.02
12	4.08	45	38	32	16	16	1.93
13	4.04	54	45	38	15	14	1.95
14	4.12	51	46	36	12	16	2.11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.16 การทดลองที่ 16 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 1

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	3.32	45	40	38	12	28	2.05
2	3.25	48	41	34	14	38	2.14
3	3.24	51	42	37	12	25	2.12
4	3.35	48	37	31	14	25	1.97
5	3.41	42	34	30	12	25	1.91
6	3.40	42	36	31	14	20	2.03
7	3.34	47	35	33	12	33	2.14
8	3.35	42	32	30	14	32	2.15
9	3.20	50	41	32	12	39	2.07
10	3.24	50	43	37	14	38	2.03
11	3.40	45	40	33	12	33	2.08
12	3.35	44	41	34	11	33	2.08
13	3.47	45	38	30	10	32	1.98
14	3.19	47	39	31	12	33	2.09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.17 การทดลองที่ 17 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 2

แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	3.30	45	40	38	12	34	2.13
2	3.38	50	45	32	14	35	2.08
3	3.19	51	41	35	12	32	2.12
4	3.40	43	40	38	14	31	2.13
5	3.41	46	41	34	11	30	2.10
6	3.28	42	38	33	19	29	2.13
7	3.30	39	32	31	12	27	2.08
8	3.37	34	33	29	14	29	2.07
9	3.29	43	38	32	12	30	1.98
10	3.56	42	40	32	15	23	2.13
11	3.40	41	38	36	12	32	2.08
12	3.39	39	32	34	15	28	2.06
13	3.38	43	37	31	12	31	2.10
14	3.40	44	32	28	15	29	2.11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.18 การทดลองที่ 18 ทดลองระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 100 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ 30 เซนติเมตรต่อวินาที รอบที่ 3

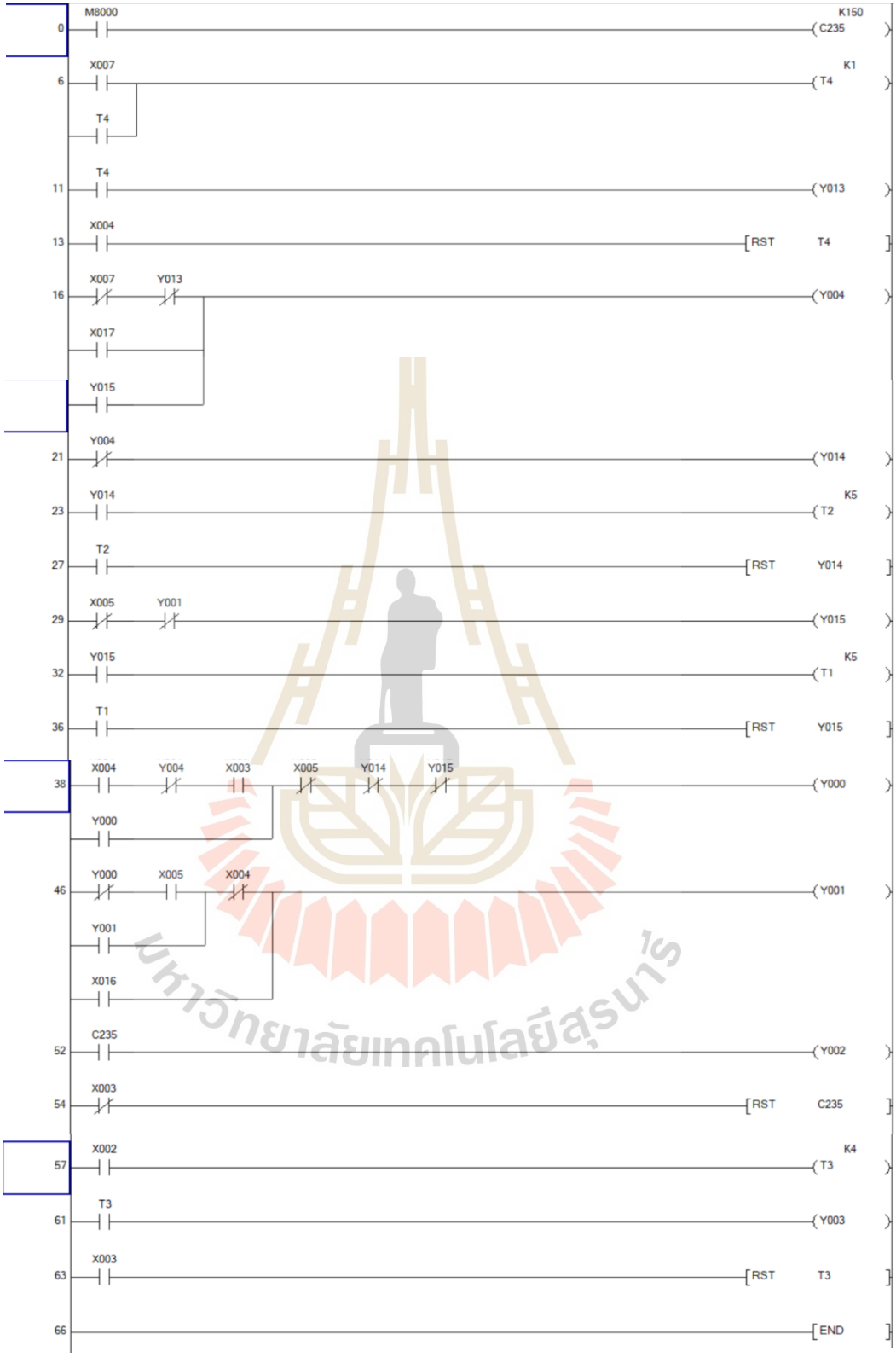
แถว	เวลาที่ใช้ (นาที : วินาที)	จำนวนท่อนที่ใช้ (ท่อน)	ท่อนที่ปักตั้ง (เอียง > 45 องศา)	ท่อนที่ปักลึก (ลึก > 8 cm)	ท่อนที่ตาเสียหาย (ท่อน)	ระยะปลูกคลาดเคลื่อน (> 10 cm)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
1	3.31	45	40	38	14	34	2.10
2	3.38	50	43	40	12	29	2.11
3	3.28	51	49	43	14	32	2.14
4	3.39	46	42	40	12	31	2.14
5	3.45	42	41	38	12	34	2.08
6	3.44	46	40	32	14	32	1.99
7	3.30	48	42	34	12	31	2.09
8	3.45	45	40	32	13	22	2.03
9	3.43	45	39	30	12	32	2.11
10	3.30	49	43	34	14	31	2.02
11	3.36	51	48	38	12	23	2.15
12	3.27	53	45	39	14	31	2.07
13	3.40	54	45	41	12	30	2.16
14	3.30	53	45	40	13	32	2.13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

Ladder Diagram ควบคุมการทำงานเครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค.1 Ladder Diagram ควบคุมการทำงานเครื่องปลูกมันสำปะหลังต้นแบบ

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

สุรธวัช บุญหนัก กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค (2561). ความเสียหายเชิงกลต่อตาของผลผลิตท่อนพันธุ์มันสำปะหลังภายใต้ภาระแบบกระแทก. การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 16. 12-13 กรกฎาคม 2561, จังหวัดจันทบุรี.

ความเสียหายเชิงกลต่อตาของผลผลิตท่อนพันธุ์มันสำปะหลังภายใต้ภาระแบบกระแทก

Mechanical Damage of Bud on Cassava Stake under Impact Load

สุรธวัช บุญหนัก[1], กระวี ตรีอำนรรค[1] และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค[2]
Suratawat Boonnak[1], Krawee Treeamnuk[1], and Tawarat Treeamnuk[2]

Abstract

This research aim was to study impact load effect on mechanical damage to bud of cassava stalk in commercial production. The 12 months cassava stalk of "Rayong 72" cultivar was used in this study. The impact loads by Ballistic Pendulum method were applied on the bud of stalk prepared from 3 parts of plant including of bottom, middle and top of the cassava stem. Four levels of impact angle as 10, 15, 20 and 25 degrees were tested with 20 replications per angle. The results showed that at 25 degree of impact angle testing, the bud of sample stake from bottom, middle and top of stem could absorb the maximum absorption energy of 1.089, 1.080, and 1.068 J, respectively. The mechanical damage in term of bud deformation resulted by energy absorption on sample stake from bottom, middle and top of stem were 4.87, 4.51, and 5.02 mm, respectively. All of absorption energy and mechanical damage were the highest value that the bud could not resist with affecting on the germination of the plant.

Keywords: Cassava Stake, Mechanical Damage, Ballistic Pendulum

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาระแบบกระแทกที่ทำให้เกิดความเสียหายเชิงกลต่อตาของผลผลิตท่อนพันธุ์มันสำปะหลังซึ่งผลิตเพื่อจำหน่ายพันธุ์ในเชิงการค้า ศึกษากับท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 อายุ 12 เดือน โดยวิธีการทดสอบแบบ Ballistic Pendulum เตรียมตัวอย่างท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 3 ส่วน ที่ได้จากต้นมันสำปะหลัง คือ ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของต้น ทดสอบที่ 4 ระดับมุมตกกระทบคือ 10 15 20 และ 25 องศา บนตาของท่อนพันธุ์ โดยทำการทดสอบมุมละ 20 ซ้ำ ผลการทดสอบพบว่า ที่มุมตกกระทบ 25 องศา ตาของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจากส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายต้น สามารถรับพลังงานดูดซับมากที่สุดเท่ากับ 1.089 J 1.080 J และ 1.068 J ตามลำดับ โดยทำให้เกิดความเสียหายเชิงกลเป็นรอยยุบของเนื้อตาบริเวณส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของต้นมีค่าเท่ากับ 4.87 mm 4.51 mm และ 5.02 mm ตามลำดับ โดยที่พลังงานดูดซับและความเสียหายเชิงกลที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้ตาเกิดความเสียหายและส่งผลกระทบต่อการงอกของท่อนพันธุ์

คำสำคัญ: ท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง, ความเสียหายเชิงกล, บอลลิสติกเพนดูลัม

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยสามารถปลูกได้ทุกภูมิภาคแต่จะนิยมปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การปลูกมันสำปะหลังมีหลายวิธี (กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2546) เช่น การปลูกแบบวางท่อนพันธุ์ราบกับพื้น แต่การปลูกแบบปักตั้งเป็นวิธีที่นิยมในปัจจุบันโดยจะใช้ส่วนของลำต้นที่มีตา (Bud) ที่สามารถงอกออกเป็นต้นใหม่มาใช้ในการปลูก ก่อนทำการปลูกเกษตรกรจะทำการเตรียมท่อนพันธุ์โดยตัดท่อนพันธุ์ที่เก็บรักษาจากฤดูกาลปลูกที่ผ่านมาให้มีความยาว (กอบเกียรติ และคณะ, 2554) ประมาณ 20 เซนติเมตร หากปลูกในฤดูฝน แต่หากปลูกในฤดูแล้งจะต้องตัดท่อนพันธุ์ให้มีความยาวประมาณ 25 เซนติเมตร และมีจำนวนตาไม่น้อยกว่า 5 ตา จากนั้นเกษตรกรจะทำการปักท่อนพันธุ์ลงในดิน จากคำแนะนำของศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย(สรรเสริญ 2558) แนะนำปักให้มีความลึก 1 ใน 3 ของความยาวท่อนพันธุ์ ซึ่งการปักตื้นจะมีผลกระทบต่อรากอ่อนเมื่อดินดูดซับความร้อนจากผิวดินไว้ แต่การปักลึกตามคำแนะนำ

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima 30000
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 30000
School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima 30000

จะทำให้ลำต้นที่อยู่ในดินมีตาอยู่ประมาณ 3-5 ตา สามารถงอกออกมาจากใต้ดินเป็นต้นใหม่ในกรณีตาบนดินไม่สามารถงอกได้ ถ้าหากตาบนดินงอกตาที่อยู่ใต้ดินจะงอกเป็นรากช่วยหาอาหารและพัฒนาเป็นรากสะสมอาหารได้ เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด ขั้นตอนการเก็บรักษาท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไม่ให้เกิดความเสียหาย การคัดเลือกท่อนพันธุ์ที่มีความสมบูรณ์ของลำต้น และจำนวนตาที่เหมาะสม จะช่วยให้มันสำปะหลังเจริญเติบโตได้เต็มศักยภาพของตัวเองส่งผลให้เกษตรกรได้ผลผลิตสูงสุดและลดต้นทุนในการปลูกซ่อมแซมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ไม่สามารถงอกเป็นลำต้นได้ จากการทดลองที่ผ่านมา (รังสรรค์ และวินัย, 2558) รายงานว่า ลำต้นมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 72 มีค่าแรงเฉือนสูงสุดประมาณ 750 นิวตัน และลำต้นมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบงมีค่าแรงเฉือนสูงสุด 500 นิวตัน ซึ่งลำต้นมันสำปะหลังทั้งสองพันธุ์จะมีลักษณะของกราฟเกิดจุดสูงสุด (Peak Point) เพียงจุดเดียวเหมือนกับวัสดุที่ไม่มีเส้นใยแต่หลังจากนั้นแทนที่แรงจะตกลงทันที แรงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเหมือนวัสดุที่มีเส้นใยแต่บางครั้งไม่เกิดจุดสูงสุดที่ชัดเจนเหมือนกับวัสดุเส้นใยหรืออาจจะเรียกได้ว่า เป็นวัสดุกึ่งเส้นใย (Simi-fibrous Materials) ซึ่งลักษณะเช่นนี้สามารถพบได้กับพืชที่มีท่อน้ำลำเลียงขนาดใหญ่ (Xue *et al.*, 2016) รายงานว่า ลำต้นมันสำปะหลังจากจีนใต้ที่มีความชื้น 68.86% มีค่า Axial compression strength เฉลี่ยเท่ากับ 1.51 MPa ค่า Radial compression strength เฉลี่ยเท่ากับ 0.76 MPa ค่า Axial shear strength เฉลี่ยเท่ากับ 0.32 MPa ค่า Radial shear strength เฉลี่ยเท่ากับ 2.33 MPa และ (Xue *et al.*, 2015) รายงานว่า ลำต้นมันสำปะหลังจากประเทศจีนสายพันธุ์ SC205 มีค่าเฉลี่ย Failure load และ Axial compression strength ส่วนปลายลำต้นเท่ากับ 2,187.28 N และ 10.65 MPa ส่วนกลางลำต้นเท่ากับ 3,867.63 N และ 11.97 MPa และส่วนปลายของลำต้นเท่ากับ 5,892.03 N และ 12.81 MPa และค่าเฉลี่ย Failure load และ Radial compression strength ส่วนปลายลำต้นเท่ากับ 345.40 N และ 1.24 MPa ส่วนกลางลำต้นเท่ากับ 542.90 N และ 1.19 MPa และส่วนปลายของลำต้นเท่ากับ 662.97 N และ 1.09 MPa

อุปกรณ์และวิธีการ

กระบวนการเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

การเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเริ่มจากการตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 อายุ 12 เดือน จากแปลงปลูกขั้นตอนถัดไปนำต้นมันสำปะหลังตัดส่วนโคนและปลายของต้นออกประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อคัดส่วนที่แก่และอ่อนเกินไปออกจากลำต้นตามวิธีการปลูก หลังจากนั้นตัดส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายให้ได้ส่วนที่มีตาติดกับท่อนพันธุ์ 1 ตา

การทดสอบโดยวิธีการทดสอบแบบ Ballistic Pendulum

เตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแล้ว วัดความยาวของรอยแผลใบ (Leaf Scar) ที่ยื่นออกมาป้องกันตาบนท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ทำการทดสอบแบบ Ballistic Pendulum (Fig. 1) กับส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของต้นมันสำปะหลัง โดยทดสอบที่ 4 มุมตกกระทบ คือ 10 15 20 และ 25 องศา โดยทดสอบมุมละ 20 ตัวอย่าง และคำนวณหาพลังงานกระทบ (ธนากร และคณะ, 2558) ดังสมการที่ 1 หลังจากนั้นวัดระยะยุบตัวของรอยแผลใบ (Leaf Scar)

$$U = mgR(\cos\theta_r - \cos\theta_i) \quad (1)$$

เมื่อ U = พลังงานกระทบ มีหน่วยเป็น J g = ค่าแรงโน้มถ่วง มีค่า 9.81 m/s^2

m = มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น kg R = ความยาวเชือก มีหน่วยเป็น m

θ_r = มุมของเส้นเชือกทำกับแนวดิ่งเมื่อสะท้อนกลับสูงสุด มีหน่วยเป็นองศา

θ_i = มุมของเส้นเชือกทำกับแนวดิ่งก่อนปล่อย มีหน่วยเป็นองศา

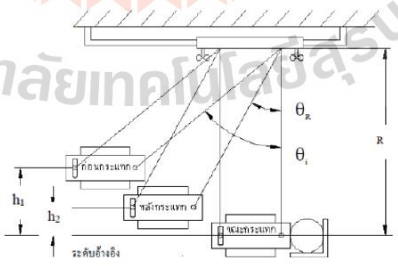
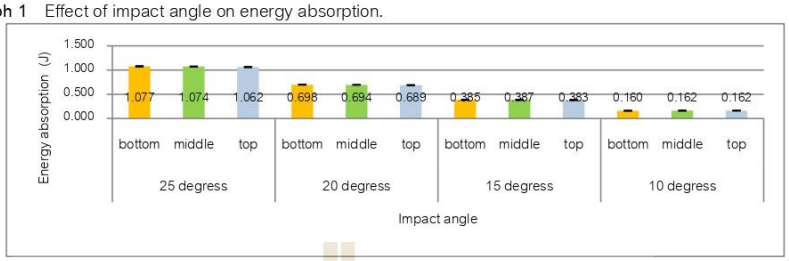


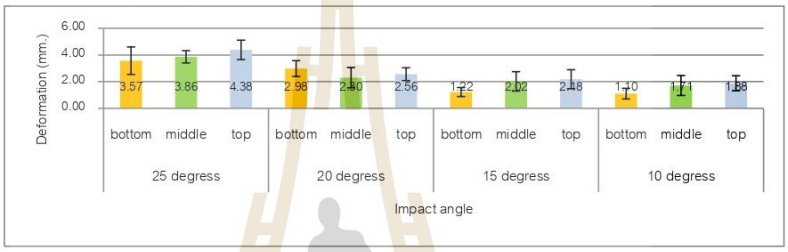
Figure 1 Ballistic Pendulum (ธนากร และคณะ, 2558)

ผลการทดลอง

Graph 1 Effect of impact angle on energy absorption.



Graph 2 Effect of impact angle on leaf scar deformation.



ที่มุมตกกระทบ 25 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 1.077 J 1.074 J และ 1.062 J ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 3.57 mm. 3.86 mm. และ 4.38 mm. ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 1.089 J 1.080 J และ 1.068 J ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 4.87 mm. 4.51 mm. และ 5.02 mm. ตามลำดับ

ที่มุมตกกระทบ 20 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.698 J 0.694 J และ 0.689 J ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 2.98 mm. 2.30 mm. และ 2.56 mm. ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 0.698 J 0.698 J และ 0.698 J ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 2.98 mm. 2.70 mm. และ 2.14 mm. ตามลำดับ

ที่มุมตกกระทบ 15 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.385 J 0.387 J และ 0.383 J ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 1.22 mm. 2.02 mm. และ 2.18 mm. ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 0.391 J 0.392 J และ 0.391 J ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 1.11 mm. 0.98 mm. และ 3.73 mm. ตามลำดับ

ที่มุมตกกระทบ 10 องศา รอยแผลใบของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นสามารถรับพลังงานดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.160 J 0.162 J และ 0.162 J ตามลำดับ โดยทำให้ระยะยุบเฉลี่ยของรอยแผลใบ (Leaf Scar) หลังจากรับแรงกระแทกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 1.10 mm. 1.71 mm. และ 1.88 mm. ตามลำดับ และพลังงานดูดซับมากที่สุดของส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 0.170 J 0.171 J และ 0.171 J ตามลำดับ ส่งผลให้ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีระยะยุบของรอยแผลใบ (Leaf Scar) เท่ากับ 1.36 mm. 2.61 mm. และ 2.22 mm. ตามลำดับ

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของแรงกระทบที่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังรับได้มากที่สุดคือมุมตกกระทบ 25 องศา โดยที่ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้น มีค่าพลังงานกระทบเฉลี่ยเท่ากับ 1.077 J 1.074 J และ 1.062 J ตามลำดับ เมื่อนำค่าทั้งสามส่วนมาคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อเป็นตัวแทนของทั้งลำต้นจะได้ค่าเท่ากับ 1.071 J และ 0.008 J ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่เล็กน้อยจึงถือได้ว่า ลำต้นมันสำปะหลังสามารถรับพลังงานกระทบได้เท่ากันทั้งลำต้น ซึ่งเป็นไปตามคำแนะนำของศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (สรรเสริญ 2558) แนะนำให้เกษตรกรนำต้นมันสำปะหลังที่มีอายุ 10 -12 เดือน มาใช้เป็นท่อนพันธุ์ในการปลูกเพื่อให้ได้ต้นพันธุ์ที่แข็งแรงและมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูง

เมื่อพิจารณาระยะยุบของรอยแผลใบเฉลี่ย (Leaf Scar) ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของลำต้นมีค่าเท่ากับ 3.57 mm. 3.86 mm. และ 4.38 mm. ตามลำดับ เมื่อนำค่าทั้งสามส่วนมาคำนวณค่าเฉลี่ยระยะยุบของรอยแผลใบและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งลำต้นจะได้ค่าเท่ากับ 3.98 mm. และ 0.41 mm. ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่มีค่ามากจึงถือได้ว่า ลำต้นมันสำปะหลังมีระยะยุบของรอยแผลใบแตกต่างกันมากทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์ของแต่ละพื้นที่ปลูก

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบความเสียหายเชิงกลต่อตาของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 อายุ 12 เดือน โดยทดสอบด้วยวิธีกระแทกแบบ Ballistic Pendulum กับส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของต้นมันสำปะหลัง พบว่ามุมตกกระทบ 25 องศา ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังได้รับค่าพลังงานกระทบมากที่สุดและได้รับพลังงานกระทบเท่ากันทั่วทั้งลำต้น โดยสามารถแปรผลได้ว่าในการปล่อยท่อนพันธุ์ตกจากที่สูงตามแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น การขนย้ายท่อนพันธุ์หลังจากการตัดท่อนพันธุ์ ควรปล่อยให้ตกจากที่สูงไม่เกิน 2.85 เมตร หรือการออกแบบชุดกลไกการปักท่อนพันธุ์สำหรับขั้นตอนการปลูก ควรมีความเร็วสัมพัทธ์กับท่อนพันธุ์ไม่เกิน 7.47 เมตรต่อวินาที เพื่อป้องกันตาของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเสียหาย หากเกิดการเสียหายจะส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของต้นมันสำปะหลัง

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ. 2546. มันสำปะหลัง. สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical06013.pdf.(1 เม.ย. 2561).

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, วลัยพร ศะศิประภา, นาวี จิระชีวี, ก้อนทอง พัวประโคน, โสภิตา สมคิด, นาฏญา โสภา, รังษี เจริญสถาพร, เบญจมาศ คำสืบ, นรีลักษณ์ วรรณสาย และอนุชิต ฉ่ำสิงห์. 2554. ดิน น้ำและการจัดการปลูกมันสำปะหลัง. สถาบันวิจัยพืชไร่. 48 หน้า.

ธนากร แนวกลาง, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, วีรชัย อาจหาญ และกระวี ตรีอำนรรค. 2558. การทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีการทดสอบแบบ Ballistic pendulum. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา. 509 – 513.

รังสรรค์ กุฎลำโรง และ วินัย กล้าจริง. 2558. การศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลัง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา กรุงเทพฯ. 571 – 577.

สรรเสริญ สุนทรทยาภิรมณ์.2558.การปลูกมันสำปะหลังสะอาดเพื่อการขยายพันธุ์.ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลัง (แห่งประเทศไทย). 8 หน้า.

Xue Z., J. Zhang, Y. Zhang, C. Li, S. Chen and D. Song. 2015. Test and analysis on the mechanical properties of cassava stalks. The Journal of Animal & Plant Sciences. Vol 25: 59-67.

Xue Z., J. Zhang, Y. Zhang, C. Li, S. Chen and D. Song. 2016. Research the mechanical properties of the cassava stem. Advance Journal of Food Science and Technology. Vol 10: 763-769.

ประวัติผู้เขียน

นายสุรธวัช บุญหนัก เกิดวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2535 ที่อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2556 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เริ่มทำงานที่ บริษัท เอี่ยมเฮง โมดิฟาย สตาร์ช จำกัด ตำแหน่งวิศวกรโครงการ เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้และความสามารถให้กับตนเอง จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ. 2558 โดยขณะกำลังศึกษาระดับปริญญาโทได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2561 เรื่อง “ความเสียหายเชิงกลต่อตาของผลผลิตท่อนพันธุ์มันสำปะหลังภายใต้ภาระแบบกระแทก”

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี