

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249683



การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องขุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังดินแบบ

THE DESIGN AND TESTING OF THE PROTOTYPE OF CASSAVA

DIGGING AND GATHERING MACHINE

นายคนูวัศ ทางคี่

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554





249683



การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องขุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ  
**THE DESIGN AND TESTING OF THE PROTOTYPE OF CASSAVA  
DIGGING AND GATHERING MACHINE**



นายธนุวัศ ทางดี

วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
พ.ศ. 2554

**การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ**

**นายคนูวัศ ทางคี่**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร**

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น**

**พ.ศ. 2554**

**THE DESIGN AND TESTING OF THE PROTOTYPE OF CASSAVA  
DIGGING AND GATHERING MACHINE**

**MR. DANUWAT THANGDEE**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN AGRICULTURAL MACHINERY ENGINEERING  
GRADUATED SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

**2011**



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
หลักสูตร  
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

ชื่อวิทยานิพนธ์: การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเห็บมันสำปะหลัง  
ต้นแบบ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายคนูวัศ ทางคี่

|                                     |            |               |
|-------------------------------------|------------|---------------|
| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์: ดร.อนุชิต | นำสิงห์    | ประธานกรรมการ |
| ดร.จักรมาศ                          | เลาหวนิช   | กรรมการ       |
| ดร.คำนึ่ง                           | วาทโยธา    | กรรมการ       |
| ดร.ชัยยันต์                         | จันทร์ศิริ | กรรมการ       |
| ผศ.ดร. เสรี                         | วงศ์พิเชษฐ | กรรมการ       |

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี วงศ์พิเชษฐ)

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมดัย)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก ชีระกุลพิสุทธ)  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณูวิศ. ทางคิ. 2554. การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง  
ต้นแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกล  
เกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผศ.ดร. เสรี วงศ์พิเชษฐ

## บทคัดย่อ

249683

การขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งของ  
อุตสาหกรรมการผลิตมันสำปะหลัง จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยมีการ  
พัฒนาเครื่องชุดมันสำปะหลังและมีการใช้งานระดับเกษตรกรแต่ยังไม่พบการใช้งานเครื่องชุดและ  
ลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังขึ้นจากดิน ทั้งนี้ปัญหาการลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังหลังการขุดขึ้น ไปยัง  
กระบะรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ยังไม่เกิดเครื่องชุดและเก็บรวบรวม  
เหง้ามันสำปะหลังที่เป็นที่ยอมรับของเกษตรกรผู้ใช้งาน ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าวิจัยและพัฒนา  
เครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ เพื่อแก้ไขและหรือบรรเทาปัญหาการขาด  
แคลนแรงงานดังกล่าว โดยทำการวิจัยพัฒนาหลักการทำงานของอุปกรณ์ชุดและเตรียมเหง้ามัน  
สำปะหลัง วิจัยพัฒนาหลักการทำงานของอุปกรณ์เก็บลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังจากพื้นดินขึ้นไป  
ที่กระบะรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง จากนั้นจึงออกแบบ สร้าง และทดสอบ เครื่องชุดฯ ต้นแบบ  
และเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของเครื่องชุดฯ ต้นแบบ กับวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปของ  
เกษตรกร และประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

ผลการวิจัยพัฒนาหลักการทำงานของชุดชุดและเตรียมเหง้ามันสำปะหลังให้เหมาะต่อการ  
ดักด้วยชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง ได้พัฒนาการทำงานของชุดชุดให้สามารถชุดพร้อมๆ กับย่อย  
ดินรอบๆ เหง้ามันสำปะหลังให้ร่วนเป็นก้อนเล็กๆ และนำเหง้าฯ ขึ้นวางบนผิวดิน เหมาะต่อการดัก  
ของกระพ้อลำเลียง หลังจากนั้นจึงพัฒนาอุปกรณ์ลำเลียงเหง้าฯ แบบกระพ้อ สำหรับเก็บลำเลียง  
เหง้ามันสำปะหลังจากพื้นดินขึ้นไปที่กระบะรวบรวมเหง้าฯ โดยใช้ลูกกระพ้อแบบโปร่ง มีราง  
ประคองลูกกระพ้อป้องกันการบิดตัวของโซ่กระพ้อ จากผลการศึกษาพบว่า กระพ้อสามารถทำงาน  
ได้ราบรื่นต่อเนื่อง โดยลูกกระพ้อสามารถทำงานด้วยความเร็วสูงสุด 1.50 เมตรต่อวินาที

เมื่อนำผลการวิจัยและพัฒนาดังกล่าวข้างต้น และผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ  
พื้นฐานของมันสำปะหลังและดินที่เกี่ยวข้อง มาออกแบบและสร้างเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้า  
มันสำปะหลังต้นแบบ ได้เครื่องชุดฯ ต้นแบบ ที่มีขนาดกว้าง ยาว สูง โดยรวมเท่ากับ 1900 4850

249683

และ 3150 มิลลิเมตร ตามลำดับ และผลการทดสอบพบว่ามีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 0.34 ไร่/ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพการทำงานเชิงเวลาเฉลี่ยร้อยละ 58.94 ซึ่งเครื่องชุดฯ ดันแบบมีความสามารถสูงกว่าวิธีการใช้แรงงานคนชุดและเก็บรวมกองเห้างฯ 3.28 เท่า และใช้คนทำงานน้อยกว่าร้อยละ 66.43

Danuwat Thangdee. 2011. **The Design and Testing of the Prototype of Cassava Digging and Gathering Machine.** Doctor of Philosophy Thesis in Agricultural Machinery Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.

**Thesis Advisor:** Asst. Dr. Seree Wongpichet

## **ABSTRACT**

249683

The labor shortage is one of the most important problems in cassava harvesting process, especially bunch digging and gathering steps. To reduce this problem, this research aimed to design and develop the Cassava Digging and Gathering Machine. The physical properties of cassava bunch and soil were studied as the data for design the prototype machine. Then, the digging unit, and the conveying unit of the prototype machine were developed and fabricated. The efficiency and production cost of the prototype machine was determined. The obtained values were compared with those values obtained from labor used process.

The results showed that digging unit was suitable for digging and preparing of cassava bunch from the soil. The conveying unit was consisted of spares bucket elevator connected with rail can be used to convey the cassava bunch to trailer with conveying velocity of 1.50 m/s. The rail can protect the twisting of bucket chain resulting in high efficiency of the prototype machine.

The prototype machine has width, length, and height of 1,900 4,850 and 3,150 mm. respectively. Field capacity and time efficiency of the prototype machine were 0.34 rai/hr and 58.94%, respectively. The values were higher than those values of labor approximately 3 times. Moreover, if the prototype machine is used, the amount of corresponding labor will reduce to 66.43%.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงได้ด้วยความรู้ความเข้าใจจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี วงศ์พิเชษฐ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ ความเข้าใจ ตลอดจนให้ความเอาใจใส่ดูแลอย่างสม่ำเสมอมาตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อนุชิต น้าสิงห์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.คำนิง วาทโยธา ดร.รัชชันต์ จันทรศิริ ดร.จักรมาส เลหาวิช ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการสอบวิทยานิพนธ์นี้

สำหรับการศึกษานี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว: หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตลอดจนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาซึ่งเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุเทพ – คุณแม่อรุณี ทางดี คุณสุมาลี ทางดี และขอขอบพระคุณญาติพี่น้องทุกคน คุณศิระมา เจริญสุขสวัสดิ์ ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและคอยให้กำลังใจอย่างดียิ่งตลอดการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมโภชน์ สุดาจันทร์ หัวหน้าภาควิชาและคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน ที่กรุณาให้คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี ที่ให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีมาตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณข้าราชการ พนักงาน เจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร เพื่อนๆ นักศึกษา ตลอดจนน้องๆ นักศึกษา สาขาเครื่องจักรกลเกษตรทุกท่านที่ช่วยให้การวิจัยในงานวิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จล่วงด้วยดี

นอกจากนี้ ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คนุวัศ ทางดี

## สารบัญ

|                                                  | หน้า |
|--------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                  | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                               | ค    |
| กิตติกรรมประกาศ                                  | ง    |
| สารบัญตาราง                                      | ฉ    |
| สารบัญภาพ                                        | ณ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                     | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา               | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                 | 4    |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา                               | 4    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                    | 4    |
| บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง         | 5    |
| 2.1 มันท้าปะหลัง                                 | 5    |
| 2.2 การปลูกมันท้าปะหลัง                          | 5    |
| 2.2.1 วิธีการปลูก                                | 5    |
| 2.2.2 ฤดูการปลูก                                 | 6    |
| 2.2.3 พื้นที่การปลูก                             | 6    |
| 2.3 การเก็บเกี่ยวและเก็บรักษา                    | 6    |
| 2.3.1 อายุเก็บเกี่ยว                             | 6    |
| 2.3.2 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว                           | 7    |
| 2.3.3 วิธีการเก็บเกี่ยว                          | 8    |
| 2.3.4 การเสื่อมสภาพของหัวมันท้าปะหลัง            | 9    |
| 2.4 ความต้องการใช้ และการใช้ประโยชน์มันท้าปะหลัง | 10   |
| 2.4.1 กลุ่มแปรรูปเป็นแป้งมันท้าปะหลัง            | 10   |
| 2.4.2 กลุ่มแปรรูปเป็นมันเส้นและมันอัดเม็ด        | 13   |
| 2.4.3 กลุ่มแปรรูปเป็นพลังงาน                     | 13   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                               | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.5 แรงงานภาคเกษตรกรรม                                                                        | 14   |
| 2.6 งานวิจัยเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง                                                 | 19   |
| 2.6.1 งานวิจัยและข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการแรงงานในการผลิตมันสำปะหลัง                         | 19   |
| 2.6.2 งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องทุ่นแรงเก็บเกี่ยวในประเทศไทย                                    | 22   |
| 2.6.3 งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องทุ่นแรงเก็บเกี่ยวของต่างประเทศ                                  | 38   |
| 2.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                                                                        | 42   |
| 2.7.1 เสถียรภาพของแทรกเตอร์                                                                   | 42   |
| 2.7.2 อุปกรณ์ชุดแบบต่างๆ                                                                      | 44   |
| 2.7.3 มุมเอียงผลาสุค                                                                          | 47   |
| 2.7.4 ขนาดหน้ากว้างผลาสุค                                                                     | 50   |
| 2.7.5 อุปกรณ์ลำเลียงวัสดุแบบกระพ้อลำเลียง                                                     | 51   |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา                                                                 | 55   |
| 3.1 การศึกษาความสามารถในการขุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้โดยทั่วไป | 56   |
| 3.1.1 การศึกษาความสามารถในการขุดหรือถอนเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป        | 56   |
| 3.1.2 การศึกษาความสามารถในการเก็บรวบรวมกองเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป     | 57   |
| 3.1.3 การศึกษาความสูญเสียในการขุดหรือถอนเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป       | 57   |
| 3.1.4 การศึกษาความสูญเสียในการเก็บรวมกองเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป       | 57   |
| 3.1.5 การวิเคราะห์ผลการศึกษา                                                                  | 57   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                                                                        | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของพืชและดิน ที่เกี่ยวข้องกับ<br>การออกแบบชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง (Digging Unit) ชุดลำเลียงเหง้ามัน<br>สำปะหลัง (Conveying Unit) ขึ้นจากดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหง้า<br>มันสำปะหลัง และอุปกรณ์เก็บรวบรวมและเทกองเหง้ามันสำปะหลัง | 59   |
| 3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของมันสำปะหลังเพื่อ<br>เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                              | 60   |
| 3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของมันสำปะหลัง เพื่อ<br>ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังขึ้น<br>จากดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                  | 62   |
| 3.2.3 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของมันสำปะหลัง เพื่อ<br>ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอุปกรณ์เก็บรวบรวมและเทกอง<br>เหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                   | 62   |
| 3.2.4 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดิน เพื่อใช้ในการ<br>ออกแบบชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                            | 64   |
| 3.2.5 การวิเคราะห์ผลการศึกษา                                                                                                                                                                                                                                           | 64   |
| 3.3 การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามัน<br>สำปะหลัง เพื่อกำหนดกรอบการออกแบบ                                                                                                                                                                   | 65   |
| 3.3.1 การวิเคราะห์แผนผังรูปแบบการกองเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                                                                   | 65   |
| 3.3.2 การวิเคราะห์แผนผังรูปแบบการทำงานของเครื่องชุดและเก็บ<br>รวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                                   | 65   |
| 3.4 การพัฒนาหลักการทำงานของชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง (Digging Unit)<br>ชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง (Conveying Unit) จากพื้นดิน ไปยังอุปกรณ์<br>เก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง และกำหนดกรอบการออกแบบ                                                                            | 66   |
| 3.4.1 การพัฒนาหลักการทำงานของชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                                                                    | 66   |



## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                                                               | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.4.2 การพัฒนาหลักการทำงานของชุดลำเลียงเหมืองแร่สำปะหลังจากพื้นดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลัง                                                                                                                                                     | 67   |
| 3.4.3 การกำหนดกรอบการออกแบบ                                                                                                                                                                                                                                   | 69   |
| 3.5 การออกแบบและสร้าง ชุดชุดเหมืองแร่สำปะหลัง (Digging Unit) ชุดลำเลียงเหมืองแร่สำปะหลัง (Conveying Unit) จากพื้นดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลัง อุปกรณ์เก็บรวบรวมและเทกองเหมืองแร่สำปะหลัง และสร้างเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลังต้นแบบ | 69   |
| 3.5.1 การออกแบบชุดชุดเหมืองแร่สำปะหลัง                                                                                                                                                                                                                        | 69   |
| 3.5.2 การออกแบบชุดลำเลียงเหมืองแร่สำปะหลังขึ้นกระบะรวบรวม                                                                                                                                                                                                     | 70   |
| 3.5.3 การออกแบบรตพ่วงสำหรับการรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลังและการเทกอง                                                                                                                                                                                              | 70   |
| 3.5.4 การสร้างเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลังต้นแบบและทดสอบการทำงานเบื้องต้น                                                                                                                                                                         | 70   |
| 3.6 การทดสอบ และประเมินความสามารถในการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลังต้นแบบ                                                                                                                                                                  | 70   |
| 3.6.1 การทดสอบสมรรถนะในการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลังต้นแบบ                                                                                                                                                                              | 71   |
| 3.6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ                                                                                                                                                                                                                                  | 71   |
| 3.7 การเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลังต้นแบบ กับความสามารถในการชุดและเก็บรวบรวมเหมืองแร่สำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป และการประเมินเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้น                                        | 72   |
| 3.7.1 การเปรียบเทียบอัตราการชุดและเก็บรวมกองเหมืองแร่สำปะหลัง                                                                                                                                                                                                 | 72   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.7.2 การเปรียบเทียบร้อยละความสูญเสียในการทำงาน                                                                                                                                                                                                             | 73   |
| 3.7.3 การประเมินเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการทำงานเบื้องต้น                                                                                                                                                                                                    | 73   |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินการศึกษาและอภิปรายผล                                                                                                                                                                                                                     | 75   |
| 4.1 ผลการศึกษาความสามารถในการขุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้โดยทั่วไป                                                                                                                                                             | 75   |
| 4.1.1 ผลการศึกษาความสามารถในการขุดหรือถอนเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป                                                                                                                                                                    | 77   |
| 4.1.2 ผลการศึกษาความสามารถในการเก็บรวบรวมกองเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป                                                                                                                                                                 | 81   |
| 4.1.3 ผลการศึกษาความสูญเสียในการขุดหรือถอนเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป                                                                                                                                                                   | 83   |
| 4.1.4 ผลการศึกษาความสูญเสียในการเก็บรวมกองเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป                                                                                                                                                                   | 84   |
| 4.1.5 สรุปผลการศึกษาความสามารถในการขุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้โดยทั่วไป                                                                                                                                                       | 85   |
| 4.2 ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของพืชและดินที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชุดขุดเหง้ามันสำปะหลัง (Digging Unit) ชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง (Conveying Unit) ขึ้นจากดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง และอุปกรณ์เก็บรวบรวมและเทกองเหง้ามันสำปะหลัง | 86   |
| 4.2.1 ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของมันสำปะหลังเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบชุดขุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                     | 87   |
| 4.2.2 ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังขึ้นจากดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                              | 90   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                                                            | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.2.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมันสำปะหลัง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอุปกรณ์เก็บรวบรวมและเทกองเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                    | 91   |
| 4.2.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดิน เพื่อใช้ในการออกแบบชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                  | 93   |
| 4.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง เพื่อกำหนดกรอบการออกแบบ                                                                                                                                                         | 97   |
| 4.3.1 ผลการวิเคราะห์แผนผังรูปแบบการกองเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                                                     | 98   |
| 4.3.2 ผลการวิเคราะห์แผนผังรูปแบบการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                         | 100  |
| 4.4 ผลการพัฒนาหลักการทำงานของชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง (Digging Unit) ชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง (Conveying Unit) จากพื้นดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง และกำหนดกรอบการออกแบบ                                                                      | 112  |
| 4.4.1 ผลการพัฒนาหลักการทำงานของชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                                                      | 112  |
| 4.4.2 ผลการพัฒนาหลักการทำงานของชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง จากพื้นดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                 | 116  |
| 4.4.3 สรุปข้อกำหนดกรอบการออกแบบชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                                                  | 122  |
| 4.5 ผลการออกแบบและสร้าง ชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง (Digging Unit) ชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง (Conveying Unit) จากพื้นดินไปยังอุปกรณ์เก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง อุปกรณ์เก็บรวบรวมและเทกองเหง้ามันสำปะหลัง และสร้างเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ | 123  |
| 4.5.1 ผลการออกแบบชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                                                                                                                    | 123  |
| 4.5.2 ผลการออกแบบชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังขึ้นกระบะรวบรวม                                                                                                                                                                                                 | 127  |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                        | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.5.3 ผลการออกแบบรตพ่วงสำหรับการรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังและการเทกอง                                                                                                                                                      | 130  |
| 4.5.4 ผลการสร้างเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบและทดสอบการทำงานเบื้องต้น                                                                                                                                 | 131  |
| 4.6 ผลการทดสอบ และประเมินความสามารถในการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ                                                                                                                          | 133  |
| 4.7 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ กับความสามารถในการชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป และการประเมินเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้น | 138  |
| บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ                                                                                                                                                                                    | 143  |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา                                                                                                                                                                                                     | 143  |
| 5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป                                                                                                                                                                                          | 145  |
| เอกสารอ้างอิง                                                                                                                                                                                                          | 147  |
| ภาคผนวก                                                                                                                                                                                                                | 153  |
| ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดสอบการชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้โดยทั่วไป                                                                                                                          | 155  |
| ภาคผนวก ข คุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของมันสำปะหลัง และคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดินแปลงมันสำปะหลัง                                                                                                                    | 163  |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ                                                                                                                                           | 185  |
| ภาคผนวก ง แบบ (Drawing) ของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังต้นแบบ                                                                                                                                               | 195  |
| การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์                                                                                                                                                                                             | 205  |
| ประวัติผู้เขียน                                                                                                                                                                                                        | 207  |



## สารบัญตาราง

|                                                                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 อายุการเก็บรักษามันสำปะหลังที่มีผลต่อร้อยละความเน่าเสียและร้อยละของแป้ง                        | 9    |
| ตารางที่ 2.2 บริษัทผลิตเอทานอลเบื้องต้น 4 โรงงาน                                                            | 14   |
| ตารางที่ 2.3 จำนวนผู้ถือครองทำการเกษตร จำแนกตามเพศและหมวดอายุ                                               | 15   |
| ตารางที่ 2.4 ร้อยละจำนวนสมาชิกในครัวเรือนผู้ถือครองทำการเกษตร จำแนกตามเพศ หมวดอายุ และลักษณะการทำงาน        | 16   |
| ตารางที่ 2.5 จำนวนความต้องการแรงงานในการผลิตมันสำปะหลังบางประเทศของแอฟริกา                                  | 19   |
| ตารางที่ 2.6 ความต้องการแรงงานผลิตมันสำปะหลังของมาเลเซีย                                                    | 20   |
| ตารางที่ 2.7 ต้นทุนการผลิตพืชบางชนิดของอำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี                                            | 21   |
| ตารางที่ 2.8 ผลการศึกษาอัตราการทำงานแต่ละขั้นตอนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังตามวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ        | 22   |
| ตารางที่ 2.9 ความสามารถในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังโดยภาพรวม                                                  | 22   |
| ตารางที่ 2.10 สภาพที่เหมาะสมในการใช้งานผลผลิตมันฝรั่งแบบต่างๆ                                               | 46   |
| ตารางที่ 4.1 สรุปความสามารถในการขุดหรือถอนเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป                   | 81   |
| ตารางที่ 4.2 สรุปความสูญเสียจากขั้นตอนการขุดมันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป                      | 83   |
| ตารางที่ 4.3 สรุปความสูญเสียจากขั้นตอนการเก็บรวมกองเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป          | 84   |
| ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความสามารถในการขุดและเก็บรวบรวมกองเหง้ามันสำปะหลังด้วยวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้โดยทั่วไป | 86   |
| ตารางที่ 4.5 ระยะระหว่างต้นของมันสำปะหลังเป็นมิลลิเมตร                                                      | 87   |
| ตารางที่ 4.6 ระยะระหว่างแถวของมันสำปะหลังเป็นมิลลิเมตร                                                      | 88   |
| ตารางที่ 4.7 ระยะเบี่ยงของต้นมันสำปะหลังจากแนวกึ่งกลางแถวเป็นมิลลิเมตร                                      | 88   |
| ตารางที่ 4.8 ความกว้างเหง้ามันสำปะหลังเป็นมิลลิเมตร                                                         | 89   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|                                                                                                                    | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 4.9 ความยาวเหง้ามันสำปะหลังเป็นมิลลิเมตร                                                                  | 89   |
| ตารางที่ 4.10 ความลึกเหง้ามันสำปะหลังวัดขนาดในแนวดิ่งเป็นมิลลิเมตร                                                 | 90   |
| ตารางที่ 4.11 น้ำหนักเหง้ามันสำปะหลังสดเป็นกิโลกรัม                                                                | 91   |
| ตารางที่ 4.12 มุมเสียดทานสถิตของเหง้ามันสำปะหลังบนพื้นเหล็กเป็นองศา                                                | 92   |
| ตารางที่ 4.13 น้ำหนักเหง้ามันสำปะหลังที่บรรจุได้ในกล่องขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร เป็นกิโลกรัม                            | 93   |
| ตารางที่ 4.14 ชนิดเนื้อดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดิน                                          | 94   |
| ตารางที่ 4.15 ความชื้นของดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดิน                                        | 95   |
| ตารางที่ 4.16 ความหนาแน่นของดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดิน                                     | 96   |
| ตารางที่ 4.17 แรงต้านการแทงทะลุของดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดิน                               | 97   |
| ตารางที่ 4.18 สรุปขนาดมิติของขบวนเครื่องเก็บเกี่ยวในการทำงานรูปแบบต่างๆ                                            | 107  |
| ตารางที่ 4.19 ประมาณการ ระยะรัศมีวงเลี้ยวของขบวนเครื่องมือเก็บเกี่ยว                                               | 108  |
| ตารางที่ 4.20 ประมาณการเวลาเลี้ยว และเวลาทำงานของขบวนฯ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพร้อยละ 60                             | 109  |
| ตารางที่ 4.21 ประมาณการความยาวอย่างน้อยของแปลง เพื่อให้ขบวนฯ ทำงานได้ประสิทธิภาพร้อยละ 60                          | 110  |
| ตารางที่ 4.22 ผลการพิจารณาปริมาณความจุรถบรรทุกเหง้ามันสำปะหลัง                                                     | 111  |
| ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบความสามารถในการขุดลำเลียงดินด้วยผาลขุด 2 แบบ                                               | 115  |
| ตารางที่ 4.24 สรุปผลการทดสอบความสามารถดักเหง้ามันสำปะหลังของกระพ้อ                                                 | 120  |
| ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบสมรรถนะการขุดและเก็บรวมกองเหง้ามันสำปะหลังของเครื่องขุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังคันแบบ | 136  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 4.26 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานและความต้องการ<br>แรงงานในการทำงานระหว่างการขุดและเก็บรวบรวมกองด้วยวิธีที่<br>เกษตรกรรมใช้ทั่วไป กับการใช้เครื่องขุดฯ ดันแบบ | 139  |
| ตารางที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบความสูญเสียในการทำงานระหว่างการขุดและเก็บ<br>รวบรวมกองด้วยวิธีที่เกษตรกรรมใช้ทั่วไป กับการใช้เครื่องขุดฯ<br>ดันแบบ                               | 140  |
| ตารางที่ ก 1 การเก็บเกี่ยวแบบวิธีที่ 1 คนถอนทั้งคันพร้อมกับรวมแถว                                                                                                              | 157  |
| ตารางที่ ก 2 การเก็บเกี่ยวแบบวิธีที่ 2 คัดคัน ใช้ไม้จัดเหง้าฯ เก็บเหง้าฯ รวมกอง                                                                                                | 158  |
| ตารางที่ ก 3 การเก็บเกี่ยวแบบที่ 3 คัดคัน ใช้เครื่องขุดแบบพ่วงท้ายแทรกเตอร์ เก็บ<br>เหง้าฯ รวมกอง                                                                              | 160  |
| ตารางที่ ข 1 คุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของมันสำปะหลัง                                                                                                                           | 165  |
| ตารางที่ ข 2 ความหนาแน่นปรากฏของเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                               | 174  |
| ตารางที่ ข 3 ความชื้นดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดิน                                                                                                        | 175  |
| ตารางที่ ข 4 ความหนาแน่นปรากฏของดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ<br>พื้นฐานของดิน                                                                                         | 177  |
| ตารางที่ ข 5 แรงด้านการแทงทะลุของดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ<br>พื้นฐานของดิน                                                                                        | 179  |
| ตารางที่ ข 6 มุมเสียดทานสถิตของดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ<br>พื้นฐานของดิน                                                                                          | 181  |
| ตารางที่ ข 7 ผลการทดสอบอนุภาคตะกอนดินในแปลงเก็บข้อมูลคุณสมบัติทาง<br>กายภาพพื้นฐานของดิน                                                                                       | 183  |
| ตารางที่ ก 1 ระยะระหว่างคัน และระยะระหว่างแถวมันสำปะหลังแปลงทดสอบ<br>ซ้ำที่ 1                                                                                                  | 187  |
| ตารางที่ ก 2 ระยะระหว่างคัน และระยะระหว่างแถวมันสำปะหลังแปลงทดสอบ<br>ซ้ำที่ 2                                                                                                  | 188  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|                                                                                           | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ ค 3 ระยะระหว่างคัน และระยะระหว่างแฉกมันสำปะหลังแปลงทดสอบ<br>ซ้ำที่ 3             | 189  |
| ตารางที่ ค 4 ความหนาแน่น และความชื้นดิน แปลงทดสอบซ้ำที่ 1                                 | 189  |
| ตารางที่ ค 5 ความหนาแน่น และความชื้นดิน แปลงทดสอบซ้ำที่ 2                                 | 190  |
| ตารางที่ ค 6 ความหนาแน่น และความชื้นดิน แปลงทดสอบซ้ำที่ 3                                 | 190  |
| ตารางที่ ค 7 แรงด้านการแทงทะลุของดินแปลงทดสอบซ้ำที่ 1                                     | 190  |
| ตารางที่ ค 8 แรงด้านการแทงทะลุของดินแปลงทดสอบซ้ำที่ 2                                     | 191  |
| ตารางที่ ค 9 แรงด้านการแทงทะลุของดินแปลงทดสอบซ้ำที่ 3                                     | 191  |
| ตารางที่ ค 10 ผลการศึกษาเวลาการทำงานแต่ละกิจกรรมของเครื่องขุดฯ คันแบบ<br>(วินาที)         | 192  |
| ตารางที่ ค 11 ความเร็วการทำงาน ความสามารถ และประสิทธิภาพการทำงานของ<br>เครื่องขุดฯ คันแบบ | 193  |
| ตารางที่ ค 12 ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองการทำงานในแปลงทดสอบซ้ำที่ 1                          | 193  |
| ตารางที่ ค 13 ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองการทำงานในแปลงทดสอบซ้ำที่ 2                          | 193  |
| ตารางที่ ค 14 ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองการทำงานในแปลงทดสอบซ้ำที่ 3                          | 194  |
| ตารางที่ ค 15 สรุปผลผลิตที่ขุดได้และความสูญเสียจากการทำงานของเครื่องขุดฯ<br>คันแบบ        | 194  |

## สารบัญภาพ

|                                                                                     | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 2.1 ปริมาณการผลิตรายภาค ปี 2551 - 2553                                       | 5    |
| ภาพที่ 2.2 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุต่างๆ                        | 7    |
| ภาพที่ 2.3 ร้อยละของแป้งในหัวมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 เมื่อเก็บเกี่ยวช่วงเดือนต่างๆ | 7    |
| ภาพที่ 2.4 เครื่องมือขุดมันสำปะหลังและลักษณะการใช้งาน                               | 8    |
| ภาพที่ 2.5 เครื่องขุดมันสำปะหลังแบบพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก                       | 8    |
| ภาพที่ 2.6 ร้อยละผู้มีงานทำ จำแนกตามอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2545- 2548                   | 17   |
| ภาพที่ 2.7 ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวพืชหลักบางชนิด                                      | 18   |
| ภาพที่ 2.8 เครื่องขุดแบบพ่วงด้านหน้ารถแทรกเตอร์                                     | 23   |
| ภาพที่ 2.9 ภาพร่างเครื่องขุดจากต่างประเทศแบบแถวเดี่ยว (ก) แบบแถวคู่ (ข)             | 24   |
| ภาพที่ 2.10 เครื่องขุดมันสำปะหลัง แบบใบขุดสามเหลี่ยมติดพ่วงด้านหน้าแทรกเตอร์        | 26   |
| ภาพที่ 2.11 ภาพร่างส่วนประกอบเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบสันสะเทือน K.72                | 27   |
| ภาพที่ 2.12 เครื่องเก็บหัวมันสำปะหลังแบบติดพ่วงกับแทรกเตอร์                         | 28   |
| ภาพที่ 2.13 ภาพร่างเครื่องขุดมันสำปะหลังเพื่อบรรทุกในรถบรรทุก                       | 29   |
| ภาพที่ 2.14 เครื่องขุดมันสำปะหลัง มข.48                                             | 30   |
| ภาพที่ 2.15 เครื่องขุดมันฝรั่งแบบพ่วงรถไถเดินตาม                                    | 30   |
| ภาพที่ 2.16 อุปกรณ์ช่วยลำเลียงมันสำปะหลังขึ้นรถบรรทุก                               | 31   |
| ภาพที่ 2.17 เครื่องขุดและรวบรวมหัวมันสำปะหลัง                                       | 32   |
| ภาพที่ 2.18 เครื่องขุดมันสำปะหลังแบบ มข. 46                                         | 33   |
| ภาพที่ 2.19 ส่วนประกอบของเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบไถหัวหมู                           | 34   |
| ภาพที่ 2.20 รูปแบบการขุดมันสำปะหลังแบบไม่พลิกดิน (ซ้าย) และ แบบพลิกดิน (ขวา)        | 34   |
| ภาพที่ 2.21 ผลขุดแบบซี่                                                             | 35   |
| ภาพที่ 2.22 การติดตั้งซี่เหล็กเพิ่มเติม                                             | 36   |
| ภาพที่ 2.23 ผลขุดแบบจานโค้ง แบบครึ่งใบ (ซ้าย) และแบบเต็มใบ (ขวา)                    | 36   |
| ภาพที่ 2.24 อุปกรณ์ขุดมันสำปะหลัง มข. 52                                            | 38   |



## สารบัญภาพ (ต่อ)

|                                                                                                                    | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 2.25 เครื่องขุดและรวมเหง้ามันสำปะหลัง                                                                       | 38   |
| ภาพที่ 2.26 เครื่องขุดมันสำปะหลังที่พัฒนาในประเทศมาเลเซีย                                                          | 39   |
| ภาพที่ 2.27 เครื่องขุดมันสำปะหลังแบบโซ่ลำเลียง                                                                     | 40   |
| ภาพที่ 2.28 ภาพร่างหลักการทำงาน (ซ้าย) และภาพเครื่องขุดและเก็บเหง้ามัน<br>สำปะหลัง(ขวา)                            | 41   |
| ภาพที่ 2.29 ภาพร่างหลักการทำงานของเครื่องขุดและเก็บเหง้ามันสำปะหลัง (ซ้าย)<br>แนวคิดการเปลี่ยนรางลำเลียงใหม่ (ขวา) | 42   |
| ภาพที่ 2.30 แนวแรงที่เกิดขึ้นขณะเกิดการถ่ายเทน้ำหนักของแทรกเตอร์                                                   | 43   |
| ภาพที่ 2.31 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายดิน                                                                | 44   |
| ภาพที่ 2.32 ผลาขุดแบบต่างๆ ที่ใช้กับเครื่องขุดมันฝรั่ง                                                             | 45   |
| ภาพที่ 2.33 ผลาขุดตัวลิสง 3 แบบที่ศึกษาเปรียบเทียบแรงดูดลากและประสิทธิภาพ<br>การขุด                                | 47   |
| ภาพที่ 2.34 ลักษณะการแตกตัวของดินที่มีคุณสมบัติต่างกัน เมื่อถูกขุดด้วยผลาขุด                                       | 48   |
| ภาพที่ 2.35 แนวแรงที่กระทำต่อผลาขุดขณะขุดดิน                                                                       | 48   |
| ภาพที่ 2.36 แรงที่กระทำกับลิ้ม 2 หน้า                                                                              | 49   |
| ภาพที่ 2.37 ผลาขุดแบบแผ่นเรียบ                                                                                     | 49   |
| ภาพที่ 2.38 ภาพร่างการเทวีสดูของลูกกระท้อ                                                                          | 51   |
| ภาพที่ 2.39 กระท้อแบบมีระยะห่างระหว่างลูกกระท้อ(ซ้าย) และกระท้อแบบต่อเนื่อง<br>(ขวา)                               | 52   |
| ภาพที่ 2.40 ตำแหน่งการเทวีสดู ของลูกกระท้อ                                                                         | 53   |
| ภาพที่ 3.1 ภาพร่างการวัดระยะระหว่างคันมันสำปะหลัง                                                                  | 60   |
| ภาพที่ 3.2 ภาพร่างการวัดระยะระหว่างแถวมันสำปะหลัง                                                                  | 60   |
| ภาพที่ 3.3 ภาพร่างการวัดระยะความเบี่ยงเบนของคันมันสำปะหลังจากแนวกึ่งกลาง<br>แถว                                    | 61   |
| ภาพที่ 3.4 ภาพร่างการวัดความกว้างและความยาวของเหง้ามันสำปะหลัง                                                     | 61   |
| ภาพที่ 3.5 ภาพร่างการวัดความลึกการหยั่งหัวมันสำปะหลัง                                                              | 62   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|                                                                                                                                                           | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 3.6 ภาพร่างการชั่งน้ำหนักเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                          | 62   |
| ภาพที่ 3.7 ภาพร่างการวัดมุมเสียดทานสถิตของเหง้ามันสำปะหลัง (ซ้าย) และอุปกรณ์ที่ใช้ (ขวา)                                                                  | 63   |
| ภาพที่ 3.8 ภาพร่างการศึกษาความหนาแน่นปรากฏของเหง้ามันสำปะหลังโดยการบรรจุกล่อง                                                                             | 63   |
| ภาพที่ 4.1 แผนผังวิธีการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่เกษตรกรนิยมใช้โดยทั่วไป                                                                                   | 76   |
| ภาพที่ 4.2 ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรที่ศึกษาความสามารถในการทำงาน (กรอบเส้นประ)                                                                       | 77   |
| ภาพที่ 4.3 วิธีการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยการถอนมันสำปะหลังทั้งต้นพร้อมกับเก็บรวมแฉะ                                                                     | 78   |
| ภาพที่ 4.4 การใช้เครื่องมือจคในการถอนเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                     | 79   |
| ภาพที่ 4.5 การขุดด้วยเครื่องขุดพ่วงท้ายแทรกเตอร์ (ซ้าย) และการเก็บรวมกองเหง้ามันสำปะหลัง (ขวา)                                                            | 80   |
| ภาพที่ 4.6 ตารางสามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดินของ USDA                                                                                                           | 94   |
| ภาพที่ 4.7 การวิเคราะห์จำนวนรอบการเดินกรณีไม่รวมกองและกรณีรวมกองเหง้ามันสำปะหลังแบบต่างๆ                                                                  | 99   |
| ภาพที่ 4.8 ขนาดมิติของแทรกเตอร์เมื่อพ่วงเครื่องขุด มข. 46                                                                                                 | 101  |
| ภาพที่ 4.9 มิติของขบวนเก็บเหง้ามันสำปะหลัง                                                                                                                | 102  |
| ภาพที่ 4.10 มิติของขบวนเก็บเหง้ามันสำปะหลัง กรณีแทรกเตอร์พ่วงเครื่องเก็บและเทรลเลอร์บรรทุกเหง้ามันฯ                                                       | 102  |
| ภาพที่ 4.11 มิติของขบวนเก็บเหง้ามันสำปะหลัง กรณีแทรกเตอร์พ่วงเครื่องขุดและเครื่องเก็บเหง้ามันมันสำปะหลังและแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์บรรทุกเหง้ามันฯ วิ่งขนาน | 103  |
| ภาพที่ 4.12 มิติของขบวนเก็บเหง้ามันสำปะหลัง กรณีแทรกเตอร์พ่วงเครื่องเก็บเหง้ามันมันสำปะหลังและแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์บรรทุกเหง้ามันฯ วิ่งขนาน              | 104  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|                                                                                                                                                     | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 4.13 มิดิของขบวนเก็บเหง้ำมันสำปะหลัง กรณีแทรกเตอร์พ่วงเครื่องเก็บเหง้าฯ และใช้รถบรรทุกแบบต่างๆ วิ่งขนาน                                      | 105  |
| ภาพที่ 4.14 รูปแบบแปลง                                                                                                                              | 110  |
| ภาพที่ 4.15 ลักษณะผลผลิตที่ศึกษาการทำงานบนรางดิน                                                                                                    | 113  |
| ภาพที่ 4.16 ภาพร่างแนวคิดตะแกรงแยกดิน (ซ้าย) และชุดอุปกรณ์ชุดและเตรียมเหง้ำมันสำปะหลัง (ขวา)                                                        | 114  |
| ภาพที่ 4.17 ลักษณะของดินกองหน้าผลผลิต โดยไม่ไหลข้ามผลผลิต เมื่อมองด้านหน้า (ซ้าย) และมองด้านข้าง (ขวา)                                              | 116  |
| ภาพที่ 4.18 ลักษณะลูกกระพ้อที่ออกแบบ (ซ้าย) จังหวะการดักเหง้าฯ (ขวา)                                                                                | 118  |
| ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักเหง้ำมันสำปะหลังและความเร็วของลูกกระพ้อ ต่อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่กระทำกับเหง้าฯ                                | 119  |
| ภาพที่ 4.20 การกระแทกของลูกกระพ้อเมื่อใช้ความเร็วสูงทำให้เหง้ำมันกระเด็น (ซ้าย) หรือดินกระเด็น (ขวา)                                                | 120  |
| ภาพที่ 4.21 ค่าดัชนีการดักเก็บเหง้ำมันสำปะหลังของกระพ้อเมื่อเปลี่ยนระยะห่างลูกกระพ้อ                                                                | 121  |
| ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ความเร็วในการทำงานของเครื่องชุดที่เหมาะสมเมื่อมีการปรับระยะห่างระหว่างลูกกระพ้อ และระยะระหว่างคันเหง้ำมันสำปะหลัง เปลี่ยนไป | 122  |
| ภาพที่ 4.23 ภาพร่างลักษณะและขนาด ผลผลิตที่ออกแบบ                                                                                                    | 125  |
| ภาพที่ 4.24 ภาพร่างหลักการชุดเหง้ำมันสำปะหลังขึ้นจากดิน                                                                                             | 125  |
| ภาพที่ 4.25 ภาพร่างตะแกรงแยกดิน                                                                                                                     | 126  |
| ภาพที่ 4.26 ภาพร่างชุดชุดเหง้ำมันสำปะหลัง (Digging Unit)                                                                                            | 127  |
| ภาพที่ 4.27 ภาพร่างลูกกระพ้อแบบโปร่ง และมีลูกกลิ้งประคองด้านข้าง                                                                                    | 128  |
| ภาพที่ 4.28 เสากระพ้อ และรางประคองลูกกระพ้อทั้งด้านซ้ายและขวา                                                                                       | 129  |
| ภาพที่ 4.29 ลูกกระพ้อที่มีลูกกลิ้งวิ่งในรางประคอง และการส่งกำลังที่เพลาลูกกระพ้อ                                                                    | 130  |
| ภาพที่ 4.30 โครงสร้างหลักของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ำมันสำปะหลังคันแบบ                                                                           | 131  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|                                                                                                              | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 4.31 ภาพร่างเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังคันแบบ                                             | 132  |
| ภาพที่ 4.32 เครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังคันแบบ                                                    | 132  |
| ภาพที่ 4.33 เครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังคันแบบ ไม่สามารถแยกดินออกจากเหง้าได้เมื่อดินมีความชื้นสูง | 134  |
| ภาพที่ 4.34 การชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง (ซ้าย) และการเทกองเหง้ามันสำปะหลัง (ขวา)                     | 135  |
| ภาพที่ 4.35 สภาพดินแห้งแข็งเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังไม่สามารถชุดเหง้ามันสำปะหลังได้            | 137  |
| ภาพที่ ง 1 แบบ (drawing) ไอโซเมตริกของเครื่องชุดและเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังคันแบบ                          | 197  |
| ภาพที่ ง 2 แบบ (drawing) ของคาน โครงสร้างหลัก                                                                | 198  |
| ภาพที่ ง 3 แบบ (drawing) ของล้อควบคุมความลึก                                                                 | 199  |
| ภาพที่ ง 4 แบบ (drawing) ของชุดชุดเหง้ามันสำปะหลัง                                                           | 200  |
| ภาพที่ ง 5 แบบ (drawing) ของชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลัง                                                       | 201  |
| ภาพที่ ง 6 แบบ (drawing) ของกระบะรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง                                                      | 202  |
| ภาพที่ ง 7 แบบ (drawing) ของล้อบรรทุก                                                                        | 203  |