รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลัง

Design and Development of a Cassava Stem Reaper

ผศ.ดร. จตุรงค์ ลังกาพินธุ์

รศ.ดร. รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก และยังเป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังที่ใหญ่เป็นอันดับ 3 ของโลก เนื่องจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมทำให้เกิดการขาดแคลนแรงงานในขั้นตอนต่างๆ ของการปลูกมันสำปะหลัง การตัดเก็บต้นพันธ์มันสำปะหลังสำหรับปลูกนั้นเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ต้องใช้เวลาและแรงงานคน ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีเครื่องทุนแรงใช้ในขั้นตอนนี้ ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและสร้างเครื่องตัดวางรายต้นพันธ์มันสำปะหลังต้นแบบขึ้น โดยเริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของต้นพันธ์มันสำปะหลังที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศได้แก่ พันธ์เกษตรศาสตร์ 50 และวิธีการเก็บเกี่ยวต้นพันธ์มันสำปะหลังของเกษตรกร นำมาออกแบบเครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างของชุดตัดต้นพันธ์ ชุดใบมีดตัดต้นพันธ์ ชุดลำเลียงต้นพันธ์มันสำปะหลัง และใช้เครื่องยนต์สูบเดียวขนาด 10-15 แรงม้าและระบบขับเคลื่อนเป็นเครื่องต้นกำลัง โดยเครื่องต้นแบบสามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและใช้ผู้ควบคุมเครื่องเพียงคนเดียว เมื่อขับเครื่องตัดเข้าสู่แปลงปลูก ชุดใบมีดตัดที่ติดตั้งทางด้านหน้าตัวเครื่องจะทำหน้าที่ตัดต้นพันธ์ทั้งส่วนล่างและส่วนบนของต้นพันธุ์ และท่อนพันธ์ที่ผ่านการตัดจะถูกชุดลำเลียงลำเลียงไปวางรายทางด้านข้างของเครื่อง จากการทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงจำลองที่ความเร็ว 0.9, 1.2 และ 1.6 km/h ตามลำดับ พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.9 km/h โดยสามารถทำงานได้ 0.6 ไร่ต่อชั่วโมง มีความเสียหายของต้นพันธ์ 4.4 % และใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.0 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบข้างต้นจะถูกนำไปพัฒนาเครื่องตัดวางรายต้นพันธ์มันสำปะหลังให้สามารถใช้ในการเก็บเกี่ยวต้นพันธ์มันสำปะหลังของประเทศไทยได้ต่อไป

คำสำคัญ ต้นพันธุ์มันสำปะหลัง, มันสำปะหลัง, เครื่องตัด, เครื่องตัดวางราย

Abstract

Presently, Thailand is the largest exporter of cassava products and also the third biggest cassava producer of the world. Due to industrialization, there is a shortage of labor for cassava cultivation. Cassava stems harvesting operation is a time and labor consuming. At the moment, there is no mechanical cassava stems harvesting available for Thai harvesting conditions. Therefore, the main objective of this research to design and fabricated a prototype of cassava stems reaper. For designing the prototype, cassava variety that most prefer as a planting material in Thailand, Kasetsart 50, was selected to study crop properties; Traditional cassava harvesting method was also study. The machine consisted of the Stems Cutting Frame, Stems Cutting unit, Stems Conveyor unit and the 10-15 hp Diesel Engine and its Power train was used as a power source. This Machine was Self-propelled that operated by one worker. A controller steers the cassava stems reaper through the field, the cutting unit was installed in front of the machine cuts the cassava stems, and conveyed them to the side of the machine by Stems Conveyor unit. For performance evaluation in artificial field, three traveling speeds of 0.9, 1.2 and 1.6 km/h were used for testing. The best machine operation was at 0.9 km/h, the average field capacity was 0.6 rai/h, damaged stems 4.4% and fuel consumption 1.0 l/h. Based on the results obtained above, the cassava stems reaper will be developed for Thai cassava stems harvesting.

Keywords: Cassava stems, Cassava, Cutting machine, Reaper

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้งบประมาณสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

คณะวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวข้อง	3
2.1 ประวัติมันสำปะหลัง	3
2.2 ความสำคัญของมันสำปะหลังในประเทศไทย	3
2.3 พันธุ์ของมันสำปะหลังที่นิยมปลูกในประเทศไทย	4
2.4 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง	5
2.5 การปลูกและการเก็บเกี่ยวดูแลรักษามันสำปะหลัง	6
2.6 วิธีการเก็บเกี่ยวต้นพันธุ์มันสำปะหลังในปัจจุบัน	8
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	18
3.1 การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย	18
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบ	19
3.3 การทดสอบและปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบ	24
3.4ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบ	24

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	27
4.1ผลจากการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลัง	27
4.2ผลจากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	28
4.3ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบและการปรับปรุงแก้ไข	29
4.4ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย	31
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุป	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังและสภาพของพื้นที่ก่อนเก็บเกี่ยวต้นมันสำปะหลัง 28

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สัดส่วนมูลค่าการส่งออกสินค้าภาคการเกษตรที่สำคัญ 10 อันดับ	3
2.2 ปริมาณการผลิต การใช้ และราคาภายในประเทศไทย	4
2.3 แผนที่แสดงเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย	5
2.4 พื้นที่เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของประเทศไทย	5
2.5 วิธีการเก็บเกี่ยวต้นพันธุ์มันสำปะหลังสำหรับนำไปปลูกของประเทศไทยในปัจจุบัน	9
2.6 แสดงเครื่องตัดต้นมันแบบวางกอง	10
2.7 ชื่อส่วนต่างๆของฟันเฟือง	11
2.8 ขนาดมาตรฐานของโซ่	12
2.9 โครงสร้างของสายพานวี (V)	13
3.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังและสภาพพื้นที่ก่อนการเก็บเกี่ยว	19
3.2 เครื่องต้นกำลังและระบบขับเคลื่อน	20
3.3 โครงสร้างของชุดตัด	21
3.4 ชุดใบมีดตัด	22
3.5 ชุดลำเลียงต้นมันสำปะหลัง	22
3.6 ระบบส่งกำลังของชุดใบมีดตัด	23
3.7 ระบบส่งกำลังของชุดลำเลียงต้นพันธุ์มันสำปะหลัง	24
4.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรม CAD	29
4.2 เครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น	29
4.3 การปรับเปลี่ยนระบบลำเลียงเป็นสายพานโรงสี	30
4.4 การทดสอบเครื่องต้นแบบในสภาวะที่มีภาระกระทำ	30
4.5 เครื่องต้นแบบหลังจากการแก้ไขข้อบกพร่อง	31
4.6 ความสามารถในการทำงานของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบที่ความแตกต่างความเร็วในการเคลื่อนที่	32
4.7 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธ์มันสำปะหลังที่ความแตกต่างความเร็วในการเคลื่อนที่	33
4.8 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบที่ความแตกต่างความเร็วในการเคลื่อนที่	34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยรองจากข้าว ยางพารา และอ้อย (น้ำตาลและผลิตภัณฑ์) เท่านั้น แต่ละปีประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งของโลก ซึ่งมีมูลค่าการส่งออก (พ.ศ.2552) กว่า 51,641 ล้านบาท และยังเป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังที่ใหญ่เป็นอันดับ 3 ของโลก (สุดใจ สูนาสวน และ คณะ, 2554) โดยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทยประมาณ 7.78 ล้านไร่ กระจายเกือบทุกพื้นที่ของประเทศ ยกเว้นภาคใต้ ภาคที่มีการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคกลางและภาคเหนือ (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2552-3) หัวมันสดที่ผลิตได้ในประเทศแต่ละปี จะถูกนำมาแปรรูป เป็นแป้งมัน มันอัดเม็ด และมันเส้น เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ สำหรับการบริโภคในประเทศและการส่งออก อีกทั้งปัจจุบันราคาน้ำมันในตลาดโลกสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้รัฐบาลไทยมีนโยบายลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ โดยใช้พลังงานทางเลือกใหม่ที่ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรภายในประเทศ ซึ่งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่สำคัญในการผลิตเอทานอล สำหรับใช้ในการผสมน้ำมันเบนซิน เพื่อผลิตเป็นน้ำมัน **“แก๊สโซฮอล”** และได้มีการรณรงค์ให้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วประเทศไทย จากความต้องการดังกล่าวจึงทำให้พื้นที่ปลูกมันในประเทศมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น

ปัจจุบันการตัดและเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลังออกจากต้นแม่เพื่อนำไปปลูกในฤดูกาลต่อไปหรือนำไปจำหน่ายนั้น จะดำเนินการก่อนที่จะขุดมันสำปะหลัง ซึ่งขั้นตอนนี้ยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก และไม่มีเครื่องจักรกลเกษตรใช้ในขั้นตอนนี้ เป็นผลให้เกิดความล่าช้า และเสียค่าใช้จ่ายในการตัดเก็บค่อนข้างสูง อีกทั้งปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรกรรมยังทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน โดยเฉพาะฤดูกาลเก็บเกี่ยว ดังนั้นการวิจัยและออกแบบเครื่องทุ่นแรงที่สามารถตัดและเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลังออกจากต้นแม่เพื่อใช้สำหรับทดแทนแรงงานคน จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลัง สะดวกรวดเร็ว ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงาน และยกระดับการผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยอีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการตัดและเก็บเกี่ยวต้นพันธุ์มันสำปะหลัง
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลัง
3. เพื่อทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลัง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลที่มีความจำเป็นและมีผลกระทบต่อการออกแบบเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลัง เช่น ศึกษาวิธีการตัด-เก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลังของเกษตรกรในปัจจุบัน ลักษณะทางกายภาพของต้นพันธุ์มันสำปะหลังของพันธุ์ที่นิยมปลูก
2. ออกแบบ และสร้างเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลังต้นแบบ ที่ใช้เครื่องยนต์สูบเดียว ขนาด 10-15 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนตัวรถและระบบต่างๆ
3. ทดสอบ และประเมินสมรรถนะเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลังต้นแบบ ทดสอบ 3 ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องต้นแบบโดยใช้การเปลี่ยนเกียร์ขับเคลื่อน เกียร์1 เกียร์ 2 และ เกียร์ 3 ตามลำดับ โดยใช้ต้นพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ตลอดการทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลังต้นแบบ
2. ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานและความเหนื่อยยากในการทำงานในขั้นตอนการตัดเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลัง
3. ลดค่าใช้จ่ายในการตัดเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลัง ทำให้รายได้ของเกษตรสูงขึ้น
4. สามารถเผยแพร่ไปสู่สถานประกอบการที่สนใจ เพื่อนำไปพัฒนาผลิตในเชิงพาณิชย์
5. ได้ผลงานทางวิชาการสามารถนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารต่างๆ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

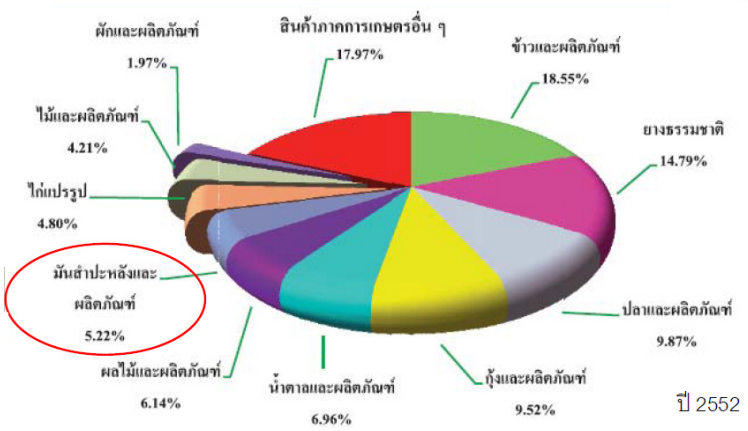
2.1 ประวัติของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารสำคัญอันดับ 5 รองจากข้างสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารสำคัญในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่างๆ ในทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้ ส่วนในทวีปเอเชีย ประเทศอินเดีย มีการบริโภคมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก และมันสำปะหลังยังเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกง่ายทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ๆ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในทวีปเอเชียมีการนำมันสำปะหลังมาปลูกครั้งแรกที่ประเทศฟิลิปปินส์ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 โดยชาวสเปนได้นำมาจากเม็กซิโกและในเวลาต่อมาก็มีการปลูกที่ อินโดนีเซีย และเมื่อ พ.ศ. 2337 ได้มีการนำมันสำปะหลังจาก แอฟริกามาปลูกที่อินเดียเพื่อใช้ในการทดลอง สำหรับประเทศไทยไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใดคาดว่าคงเข้ามาในระยะเดียวกันกับการเข้าสู่ศรีลังกาและฟิลิปปินส์คือประมาณ พ.ศ. 2329–2383 มันสำปะหลังเดิมเรียกกันว่ามันสำโรง มันไม้ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่ามันต้นเตี้ย ทางภาคใต้เรียกว่ามันเทศ

2.2 ความสำคัญของมันสำปะหลังในประเทศไทย

ความสำคัญของมันสำปะหลังต่อประเทศไทย

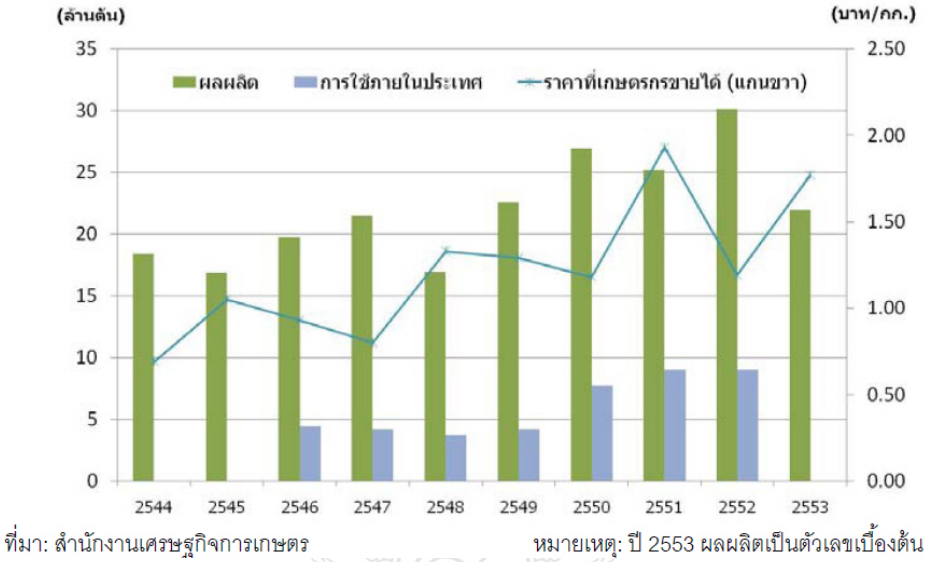
มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย รองจากข้าว ยางพารา และอ้อย (น้ำตาลและผลิตภัณฑ์) ซึ่งมีมูลค่าการส่งออก (พ.ศ.2552) กว่า 51,641 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 5.2 ของมูลค่าการส่งออกสินค้าภาคการเกษตรดังรูปที่ 2.1 โดยมีอัตราการขยายตัวคิดเป็นร้อยละ 9.61 และมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.1 สัดส่วนมูลค่าการส่งออกสินค้าภาคการเกษตรที่สำคัญ 10 อันดับ

การผลิต การใช้ การค้า และการเคลื่อนไหวราคาภายในประเทศ

ไทยมีปริมาณการผลิตมันสำปะหลัง (พ.ศ.2552) ประมาณ 30 ล้านตัน (หัวมันสด) ใช้ภายในประเทศประมาณ 9 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ที่เหลือส่งออกไปยังตลาดโลก ด้านการเคลื่อนไหวราคาที่เกษตรกรขายได้สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละปี โดยในปีที่มีผลผลิตออกมากราคามักจะอยู่ในระดับต่ำและปีที่มีผลผลิตน้อยราคาจะปรับตัวสูงขึ้นดังรูปที่ 2.2

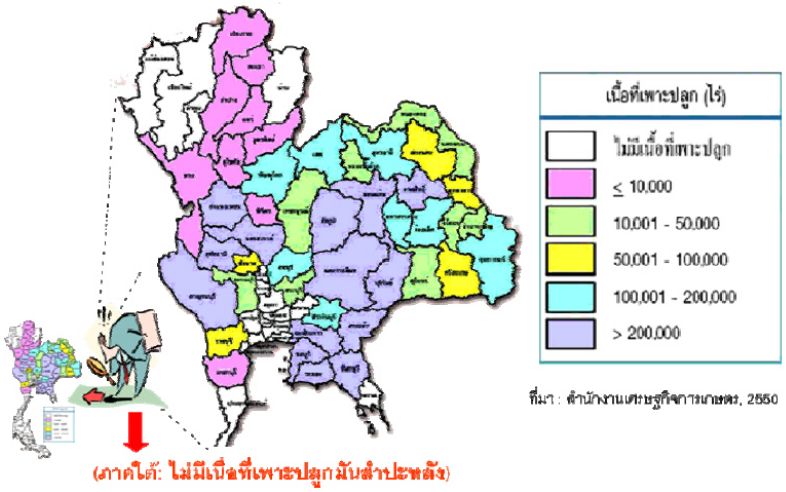


รูปที่ 2.2 ปริมาณการผลิต การใช้ และราคาภายในประเทศไทย

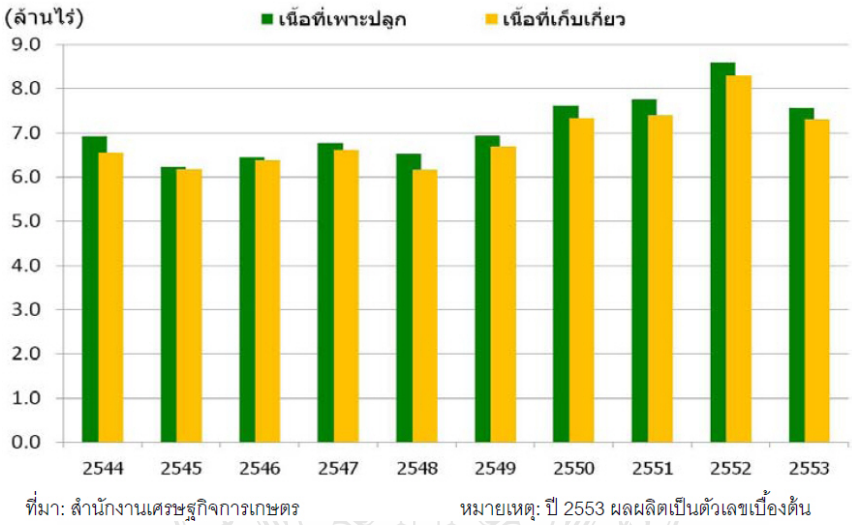
พื้น ที่เพาะปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของไทย

แหล่งผลิตมันสำปะหลัง 5 อันดับแรก ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา กำแพงเพชร สระแก้ว ชัยภูมิ และกาญจนบุรี (ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจปี 2552) โดยเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังนั้นมีกระจายอยู่ทั่วประเทศ (ยกเว้นภาคใต้) โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีเนื้อ ที่เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมากที่สุดรองลงมาได้แก่ภาคกลาง และภาคเหนือตามลำดับดังรูปที่ 2.3

เนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง (พ.ศ.2552) มีประมาณ 8.6 ล้านไร่ เป็นพื้น ที่เก็บเกี่ยวประมาณ 8.3 ล้านไร่ดังรูปที่ 2.4 หรือคิดเป็นร้อยละ 97 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด



รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย



รูปที่ 2.4 พื้นที่เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของประเทศไทย

2.3 พันธุ์ของมันสำปะหลังที่นิยมปลูกในประเทศไทย

2.3.1 มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

มีลักษณะลำต้นโค้งเล็กน้อย สีเขียวเงิน สูง 180-250 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่ความสูง 80-150 เซนติเมตร ผลผลิตเฉลี่ย 4.4 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ประมาณ 30 วันหลังจากตัดต้น

2.3.2 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 90

มีลักษณะลำต้นโค้งปานกลาง สีน้ำตาลลอมส้ม สูง 150-200 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่ระดับความสูง 80-120 เซนติเมตร ผลผลิตเฉลี่ย 4.0 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 25 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝนและ 30 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง ทนทานต่อโรคใบไหม้ปานกลาง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ไม่เกิน 15 วันหลังจากตัดต้น

2.3.3 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72

มีลักษณะลำต้นตรงสีเขียว สูง 180 - 250 เซนติเมตร แตกกิ่งน้อย สามารถปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดีโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลผลิตเฉลี่ย 5.2 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 20 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝน และ 27 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ประมาณ 30 วัน หลังจากตัดต้น

2.3.4 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5

มีลักษณะลำต้นตรงสีเขียว สูง 150-200 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่ความสูง 80-150 เซนติเมตร ผลผลิตเฉลี่ย 4.4 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝน และ 28 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝน ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ประมาณ 30 วัน หลังจากตัดต้น

2.4 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

นอกจากการบริโภคเป็นอาหารหลักแล้ว มนุษย์ยังสามารถนำมันสำปะหลังบริโภคได้หลายแบบ เช่น ทำเป็นแป้งมัน เพื่อนำไปปรุงเป็นอาหารอย่างอื่นๆ ต่อไป ในประเทศไทยมักนิยมมันสำปะหลังไปทำขนม ส่วนของหัวสด โดยการย่าง เชื่อม และในส่วนของแป้งมัน ทำขนมอื่นๆ และการใช้มันสำปะหลังทำเป็นอาหารสัตว์

2.4.1 บริโภคเป็นอาหารโดยตรง

มันสำปะหลังที่นิยมรับประทานจะเป็นหัวมันสำปะหลังชนิดหวานโดยนำมาปลอกเปลือกแล้วต้มให้เดือดและทิ้งไว้ในหม้อต้มยาอย่างน้อยครึ่งชั่วโมงและนำมาเชื่อมหวานก็จะมีรสอร่อย เช่น เดียวกับมันห้านาทีถ้ารับประทานโดยนำหัวมันสดมาปิ้งหรือย่างต้องให้แน่ใจว่าสุกดีถ้าแป้งมีรสขมอยู่ให้หลีกเลี่ยงการบริโภค

2.4.2 อุตสาหกรรมมันเส้น

มันเส้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการนำหัวมันสำปะหลังสดมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปโดยใช้เครื่องตีหัวมันเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วตากบนลานซีเมนต์ ประมาณ 2-3 วัน เมื่อมันสำปะหลังเส้นแห้งแล้ว เกษตรกรจะนำไปจำหน่ายให้กับโรงงานอาหารสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศที่ใช้มันสำปะหลังเส้นเป็นวัตถุดิบในการผลิต สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันสำปะหลังเส้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์, แอลกอฮอล์และเอทานอลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมัน

2.4.3อุตสาหกรรมแป้งมันและมันอัดเม็ด

มันอัดเม็ดสามารถผลิตได้โดยการนำมันเส้นมาอัดโดยเครื่องอัดภายใต้ภาวะความร้อนและความดัน หลังจากอัดแล้วจะมีลักษณะเป็นท่อนยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ความชื้นประมาณร้อยละ 14 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันอัดเม็ด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก และมีเทคโนโลยีในการผลิตแป้งมันสูงที่สุด แป้งมันสำปะหลังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหาร สารให้ความหวาน ผงชูรส สิ่งทอ กระดาษ ยารักษาโรค กาว ไม้อัด วัสดุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ กรดมะนาว เป็นต้น

2.5 การปลูกและการเก็บเกี่ยวดูแลรักษามันสำปะหลัง

2.5.1 สภาพดิน มันสำปะหลังชอบดินหยาบหรือดินที่ร่วนซุย ดินที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกมันสำปะหลังคือดินร่วนปนทราย (Loamy soil) ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง หน้าดินลึกและระบายน้ำได้ดี ดินที่มีหน้าดินตื้น ดินเหนียวและดินที่มีน้ำขังจะไม่เหมาะแก่การปลูกมันสำปะหลังเลย โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังควรจะเป็นดินร่วน ระบายน้ำได้ดีและอุดมสมบูรณ์ด้วยธาตุอาหาร ควรมีค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) 5.8-6 ดินที่มีน้ำขังจะทำให้หัวเน่าและตายได้ การปลูกมันสำปะหลังในดินที่เสื่อมโทรมจะได้หัวมันที่มีเปอร์เซ็นต์กรดไฮโดรไซยานิคสูง (ไสว, 2534) [4]

2.5.2 การดูแลรักษากิ่งพันธุ์ อายุกิ่งพันธุ์เก็บได้ไม่เกิน 15 วัน ถ้านานกว่านี้เปอร์เซ็นต์ความงอกจะลดลง ต้นที่คัดไว้ทำพันธุ์ควรวางให้ส่วนยอดตั้งขึ้นและโคนต้นแตะพื้นดิน เกษตรกรควรทำแปลงพันธุ์ไว้ใช้ปลูกในฤดูปลูกต่อไป เพื่อให้ได้ท่อนพันธุ์ที่มีคุณภาพและเปอร์เซ็นต์ความงอกสูง โดยเฉพาะเกษตรกรที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้งและไม่สามารถปลูกต่อได้ทันที

2.5.3 การปลูกในการปลูกมันสำปะหลังสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

2.5.3.1 การเตรียมดิน ไถด้วยผานสาม 1 ครั้ง ลึก 20-30 เซนติเมตร ตากดินไว้ 7-10 วัน พรวนด้วยผานเจ็ด 1 ครั้ง แล้วคราดเก็บเศษซาก ราก เหง้า หัว ไหลของวัชพืชข้ามปีออกจากแปลง พื้นที่ลุ่มหรือลาดเอียงให้ยกร่องขวางแนวลาดเอียง ความสูงสันร่องประมาณ 30-40 เซนติเมตร ระยะระหว่างร่อง 80 เซนติเมตร สำหรับพื้นที่ราบไม่ต้องยกร่อง พื้นที่ลาดเอียงมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ควรปลูกแฝกตามแนวระดับระหว่างแถวมันสำปะหลังเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ทุกระยะ 20-30 เมตร ระยะระหว่างหลุมแฝก 10 เซนติเมตร หลุมละ 1 ต้น พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังต่อเนื่องเป็นเวลานาน ควรเพิ่มอินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงดิน โดยหว่านปุ๋ยมูลไก่ที่ย่อยสลายดีแล้วอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ทุก 2 ปี หรือควรปลูกพืชบำรุงดิน เช่น ปอเทือง หรือถั่วพุ่ม อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยเป็นแถวระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร หรือปลูกถั่วพร้าอัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะระหว่างแถว 50-100 เซนติเมตร แล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดเมื่ออายุประมาณ 2 เดือน ก่อนปลูกมันสำปะหลังทุกปี (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2.5.3.2 การปลูก ระยะปลูก 80x80 หรือ 80x100หรือ 100x100 เซนติเมตร จำนวนต้น 1600-2500 ต้นต่อไร่ กรณียกร่องปลูกให้ปลูกบนสันร่อง เลือกต้นพันธุ์ใหม่และสดหรือตัดไว้นานไม่เกิน 15-30 วัน จากต้นที่สมบูรณ์ อายุ 8-12 เดือน ปราศจากโรคใบไม้หรือการทำลายของแมลงศัตรูพืช หรือได้รับความเสียหายจากสารกำจัดวัชพืช ตัดท่อนพันธุ์ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีจำนวนตาไม่น้อยกว่า 5 ตา ปักท่อนพันธุ์ตั้งตรงลึกประมาณ 10 เซนติเมตร

2.5.3.3 การให้ปุ๋ย ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 หรือสูตร 15-15-15 หรือสูตร 16-8-14 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย และอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับดินทราย ให้ปุ๋ยครั้งเดียวหลังจากปลูก 1-2 เดือน เมื่อดินมีความชื้นเพียงพอ โดยโรยสองข้างของต้นตามแนวกว้างของพุ่มใบแล้วพรวนดินกลบ

2.6 วิธีการเก็บเกี่ยวต้นพันธุ์มันสำปะหลังในปัจจุบัน

การเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลังสำหรับนำไปปลูกในฤดูกาลต่อไปหรือนำไปจำหน่ายของประเทศไทยในปัจจุบันนั้นยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยใช้มีดตัดท่อนพันธุ์จากต้นแม่ที่มีอายุระหว่าง 8-12 เดือน ก่อนที่จะทำการขุดหัวมันสำปะหลัง (รูปที่ 2.5 ก) แล้วนำมามัดรวมกันมัดละ 30-50 ต้น (รูปที่ 2.5 ข) หลังจากนั้นจะขนย้ายไปวางไว้รวมกันใต้ต้นไม้หรือกลางแปลงปลูก (รูปที่ 2.5 ค) เพื่อรอการปลูกหรือจำหน่ายต่อไป อายุในการเก็บรักษาต้นพันธุ์นั้นไม่ควรเกิน 30 วัน เพราะจะทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของต้นพันธุ์น้อยกว่า 80% (Sinthuprama et al., 1984) ทำให้ต้องเสียเวลาปลูกทดแทน ถ้าไม่ปลูกทดแทนจะทำให้ผลผลิตของหัวมันสดต่อไร่ลดลง

จากขั้นตอนการตัดเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลังข้างต้นยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก และยังไม่มีเครื่องจักรกลเกษตรใช้ในขั้นตอนนี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทุนแรงที่สามารถตัดและวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลังออกจากต้นแม่สำหรับใช้ทดแทนแรงงานคน เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลัง สะดวกรวดเร็ว ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานอีกทางหนึ่ง

ก) ใช้มีดตัดยอดอ่อนทิ้งในไร่และตัดต้นพันธุ์ออกจากต้นแม่

ข) มัดท่อนพันธุ์รวมกันประมาณ 30-50 ต้น

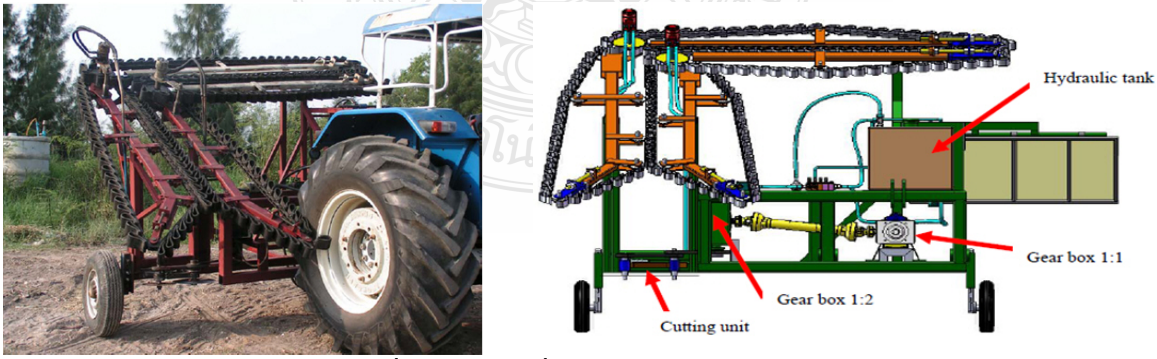
ค) ตั้งท่อนพันธุ์ไว้รอการปลูก

รูปที่ 2.5 วิธีการเก็บเกี่ยวต้นพันธุ์มันสำปะหลังสำหรับนำไปปลูกของประเทศไทยในปัจจุบัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Lungkapin และคณะ (2007) พบว่าการตัดท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยใบเลื่อยวงเดือนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 เซนติเมตร มีฟันตั้งแต่ 60 ฟันขึ้นไป ที่ความเร็วเพลาตัด 1,200 รอบต่อนาที จะไม่ทำให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเกิดความเสียหาย และยังสามารถใช้ตัดท่อนพันธุ์ได้ทุกขนาดและทุกพันธุ์ ดังนั้นจึงเลือกใบเลื่อยวงเดือนมาเป็นใบมีดตัดท่อนพันธุ์ และนำค่าความเร็วรอบต่างๆ มาใช้ในการออกแบบระบบส่งกำลังของเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลังต้นแบบ

Chaiyan (2009) ได้นำเครื่องตัดอ้อยมาพัฒนาเพื่อตัดมันแบบวางกอง โดยเครื่องจะต่อพ่วงกับจุดต่อ 3 จุดของรถแทรกเตอร์ และใช้กำลังจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์เป็นหลัก เครื่องตัดต้นมันสำปะหลังนี้เหมาะที่จะใช้กับรถแทรกเตอร์ที่มีแรงม้ามากกว่า 70 แรงม้าขึ้นไป ในการตัดต้นมันนั้นจะใช้เป็นใบมีดวงเดือนขนาด 60 ฟัน 2 ใบมีดวางชิดกัน ส่วนระบบลำเลียงต้นมันนั้น ในขณะที่ทำการตัดต้นมันอยู่จะมีแผ่นยาง วิ่งมาประกบกันเพื่อหนีบต้นมันให้เคลื่อนที่ไปตามรางเพื่อเข้าไปสู่ที่รองรับต้นมัน เมื่อต้นมันเต็มแล้วก็ทำการปล่อยต้นมันให้ร่วงลงมาที่พื้นเป็นกองๆ โดยชุดลำเลียงทั้งหมดจะใช้กำลังจากระบบไฮดรอลิกในการทำงาน โดยเครื่องจะมีล้อยางในการช่วยขับเคลื่อน 2 ล้อทั้งซ้ายขวา ตัวเครื่องจะอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 50 เซนติเมตร ส่วนใบมีดจะอยู่ห่างจากพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อเวลาที่ตัดต้นมันสำปะหลังแล้วจะมีส่วนที่เหลือไว้สำหรับดึงหัวมันขึ้นมาจากพื้นดิน โดยใบมีดจะอยู่เยื้องมาทางด้านขวาของตัวเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังจึงต้องให้รถแทรกเตอร์วิ่งวนขวารอบแปลงมันสำปะหลังโดยให้ตัวรถแทรกเตอร์อยู่ด้านนอกของแปลงแล้วให้ล้อขวาของเครื่องตัดต้นมันวิ่งอยู่ในร่องแรกของแปลงมัน ให้ใบมีดอยู่คร่อมร่องต้นมันเพื่อทำการตัด ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงเครื่องตัดต้นมันแบบวางกอง

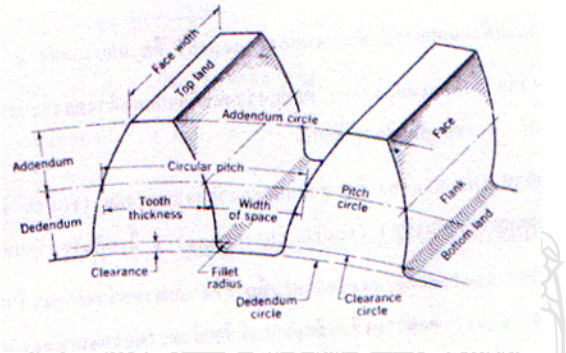
ที่มา: Chaiyan ,2009

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบชุดลำเลียงมันสำปะหลังได้ใช้ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมศาสตร์ เข้ามาช่วยในการออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์หลักของเครื่องลำเลียงมันสำปะหลัง เช่น การคำนวณเพลา การคำนวณสายพาน ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.8.1 เฟืองฟันตรง (Spur Gears)

เฟืองตรงเป็นชิ้นส่วนส่งกำลังชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นล้อทรงกลมมีฟันขนานกับแกนของตัวเฟืองหรือแกนของเพลา หน้าตัดของฟันเฟืองมีขนาดเท่ากันและเหมือนกันตลอดทั้งฟันเฟือง การส่งกำลังด้วยเฟืองจะต้องให้เพลาทั้งสองอัน ได้แก่ เพลาขับและเพลาตามมีความขนานกัน ส่วนมากแล้วเฟืองขับ (Driving Gears) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (Driven Gears) และมีชื่อเรียกเฉพาะว่า พิเนียน (Pinion) แต่การใช้งานในบางครั้งอาจจะใช้เฟืองใหญ่เป็นตัวขับก็ได้ เฟืองที่ผลิตใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีทั้งที่เป็นระบบอังกฤษ และระบบ SI แต่ในที่นี้จะใช้ระบบ SI



รูปที่ 2.7 ชื่อส่วนต่างๆของฟันเฟือง

ที่มา: วริทธิ์ และชาญ, 2535

2.8.2 การออกแบบการส่งกำลังโดยใช้โซ่ขับ

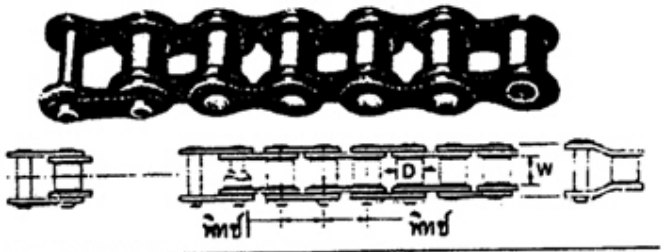
วิธีการส่งกำลังโดยใช้โซ่หมุนมี ลักษณะคล้ายกับสายพาน แต่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าและมีความแข็งแรงมากกว่า โซ่ที่ใช้ส่งกำลังในเครื่องจักรกลเกษตรที่นิยมกันมากคือ โซ่หมุน (Roller chain) ซึ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวเป็น 2 แบบ คือ โซ่เส้นเดียว (Single strand) และโซ่หลายเส้น (Multiple strand) การคำนวณหาขนาดโซ่หมุนในทางปฏิบัติมักจะใช้วิธีเลือกขนาดโซ่จากแบบของบริษัทผู้ผลิตโซ่ (วริทธิ์ และชาญ. 2535) [9]

โซ่ทำหน้าที่เหมือนเฟือง แต่ไม่มีการลื่นไถลในการส่งกำลัง การขับด้วยโซ่จึงส่งกำลังได้มากกว่าการขับที่ความเร็วรอบต่ำ จะใช้โซ่มากกว่าสายพาน ข้อเสียของโซ่ก็คือ

1. มีเสียงรบกวน

2. ต้องการการหล่อลื่นบ่อย

3. ยอมให้มีการเยื้องศูนย์ได้เล็กน้อยเท่านั้น



หมายเลขโซ่	พิทช์	กว้าง	เส้นผ่าศูนย์กลางลูกกลิ้ง
40	1/2 [12.7]	5/16 [7.9]	5/16 [7.9]
50	5/8 [15.9]	3/8 [9.5]	0.400 [10.2]
60	3/4 [19.0]	1/2 [12.7]	15/32 [11.9]
80	1 [25.4]	5/8 [15.9]	5/8 [15.9]
100	1-1/4 [31.8]	3/4 [19.0]	3/4 [19.0]
120	1-1/2 [38.1]	1 [25.4]	7/8 [22.2]
140	1-3/4 [44.4]	1 [25.4]	1 [25.4]

รูปที่ 2.8 ขนาดมาตรฐานของโซ่

ที่มา: วริทธิ์ และชาญ, 2535

2.8.3 การออกแบบการส่งกำลังโดยใช้สายพานขับ

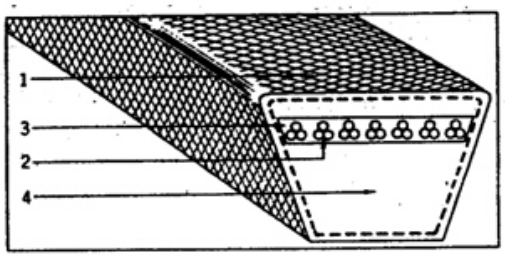
สายพานที่นิยมใช้กันมากในการส่งกำลังสำหรับเครื่องจักรกลเกษตร คือ สายพานลิ่ม เนื่องจากใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงชั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อยเพราะผลจากการเกาะยึดกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวกับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง เป็นผลให้สายพานทำงานมีประสิทธิภาพดี การส่งกำลังด้วยสายพานลิ่มมีข้อดีคือ เรียบ สะอาด สามารถรับแรงกระตุกได้ ขนาดกะทัดรัด และแบริ่งของเพลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป สายพานลิ่มมีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิตช์ และความหนาของสายพาน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบและสายพานลิ่มแบบธรรมดา

การคำนวณทางด้านการส่งกำลังโดยสายพานลิ่มทางปฏิบัติจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพานเป็นพื้นฐาน และเลือกขนาดของสายพานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต [9]

2.7.1 การขับโดยสายพาน-V

สายพาน -V ทำมาจากยางและมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แสดงโครงสร้างภายในของสายพาน -V ที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆไป บริเวณส่วนแกน (Core) ของสายพานจะมีวัสดุจำพวกเททรอน (Tetron)

1. ผ้าใบ
2. ส่วนรับแรงดึง
3. ยางป้องกัน
4. เบาะยาง



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสายพานวี (V)
ที่มา: วริทธิ์ และชาญ, 2535

2.8.4 การออกแบบเพลา

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง เพลาอาจรับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงอัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นต้องมีการออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งาน นอกจากนี้เพลายังต้องมีความแข็งเกร็ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลบมุมบิดภายในเพลาให้มีขีดจำกัดที่พอเหมาะระยะโก่ง (Deflection) ของเพลาก็เป็นสิ่งที่สำคัญในการกำหนดขนาดเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (critical Speed) ของเพลาลดลง

(1) วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาโดยทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mind Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียว และความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347, 3140, 4150, 4340 เป็นต้น เพลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุดควรเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนจึงเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานซึ่งเป็นขนาดระบุ (Normal Size) ใน ISO/R775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วย

(2) การคำนวณแกนและเพลา

วัสดุการผลิตการทำแกนและเพลา

ในภาระปกติ เช่น ในกระปุกเกียร์ , เครื่องจักรกล, ส่วนใหญ่นิยมใช้เหล็กโครงสร้าง St 37, St 42 , St 50 และ St 60 ในภาระสูงสำหรับเพลา เช่น ในรถยนต์ , เครื่องกลหนัก , กระปุกเกียร์ , เทอร์ไบน์ จะนิยมใช้เหล็กกล้าอบชุบ เช่น 25MrCO4 , 40Mn4 , และอื่นๆ

ในงานภาระที่ต้องทนต่อการสึกหรอ จะใช้เหล็กกล้าเพิ่มคาร์บอน เช่น C 15, 18 CrNi18 และอื่นๆ แกนและเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-200 มิลลิเมตร จะสามารถผลิตได้โดยไม่ต้องทำงานเพิ่มเติมอีกโดยการดึง, รีดหรือเจียระไนผิว, ขัดมันผิว แกนเพลาที่โตและมีรูปร่างพิเศษจะผลิตด้วยการทุบหรือขึ้นรูป, อัดหรือหล่อขึ้นรูปได้

การหาโมเมนต์บิด

$$M_t = 9550.P/N \qquad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้ M_t = โมเมนต์บิดระบุ มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

P = กำลังงานระบุในเพลา มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์

N = ความเร็วรอบของเพลา มีหน่วยเป็น รอบ/นาที

การหาโมเมนต์บิดในสภาพงาน

$$M_B = M_t . C_B \qquad (2.2)$$

เมื่อกำหนดให้ M_B = โมเมนต์ที่อยู่ในสภาพงาน (Working Torque)
มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

C_B = ค่าแฟกเตอร์ในการใช้งาน (Working-Factor)

ในการคำนวณความเค้นทางปฏิบัติจะมีค่า C_B ดังนี้

เครื่องกลทำงานด้วยไฟฟ้า	1,0-1,1
ชุดเครนเครื่องไส , Reciprocating Engine	1,2-1,5
เครื่องตีอัด, เครื่องปั๊มรู	1,6-2,0
ค้อนกล, เครื่องย่อยหิน, เครื่องรีดโลหะ	2,0-3,0

การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาโดยประมาณ

ส่วนใหญ่ในการคำนวณอันดับแรกจะยังไม่ทราบค่าโมเมนต์ดัดที่แน่นอน เพราะระยะของเพลาล้อหรือแรงยังไม่ทราบค่า จึงมาทำการคำนวณจากค่าโมเมนต์บิด และจำนวนรอบเพื่อหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางได้โดยประมาณ ดังสูตร

$$Ød = C_1 . \sqrt[3]{M_B} \qquad (2.3)$$

เมื่อกำหนดให้ Ød = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

M_B = โมเมนต์บิดในสภาพงาน (Working Torque) มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

C_1 = เป็นแฟกเตอร์ขึ้นอยู่กับโมเมนต์

$C_1 = 6,9$ เมื่อ τ_{all} = 15 นิวตัน/มิลลิเมตร^2 สำหรับเหล็กโครงสร้าง St 37 , St 42

$C_1 = 6,3$ เมื่อ τ_{all} = 20 นิวตัน/มิลลิเมตร^2 สำหรับเหล็กโครงสร้าง St 50 , St 60

$C_1 = 5,8$ เมื่อ τ_{all} = 25 นิวตัน/มิลลิเมตร^2 สำหรับเหล็กกล้าที่มีความเค้นสูงกว่า

(3) การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาที่แท้จริง

ความเค้นอนุญาตในขณะรับภาระพลวัต (Dynamic) σ

ชิ้นส่วนที่มีร่องบาก จะมีการพิจารณาปฏิกิริยาของมัน โดยนำค่า σ_D หรือ (τ_D) (Fatigue Strength) มาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณ ค่าความเค้นอนุญาตในขณะรับภาระทางพลวัตจะหาได้จากสูตร

$$\sigma_{all} \text{ หรือ} (\tau_{all}) = \sigma_D . b_1 . b_2 / \beta_k . S.C_B \text{ หน่วยเป็น นิวตัน/มิลลิเมตร}^2 \qquad (2.4)$$

เมื่อ σ_D = ความเค้นล้า-ดัด หน่วย นิวตัน/มิลลิเมตร^2

τ_D = ความเค้นล้า-หมุนบิด หน่วย นิวตัน/มิลลิเมตร^2

b_1 = แฟกเตอร์ผิว

b_2 = แฟกเตอร์ขนาดสำหรับพื้นที่ผิวหน้าตัดกลม

β_k = แฟกเตอร์ปฏิกิริยาของร่องบาก

S = ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)

C_B = แฟกเตอร์งาน

S = ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)

S = 2 เมื่อแรงภายนอกไม่สามารถรู้ได้อย่างแม่นยำหรือภาระสลับ หรือความถี่ในการรับภาระสูงสุดอยู่ราว 100 เปอร์เซ็นต์ หรือกรณีแรงกระแทกสูง เช่น เครื่องยนต์ ปั๊ม เทอร์ไบน์ในการใช้งานเวลานาน

S = 1,5 ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของความถี่ที่รับแรงสูงสุด (เช่น เครื่องมือกล เครื่องลำเลียง) และในกรณีปกติ

S = 1,25 ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ของความถี่ที่รับแรงสูงสุด (เช่น เครื่องมือยก) หรือเมื่อค่าแรงภายนอกที่กระทำในลักษณะงานสม่ำเสมอ หรือการตรวจสอบชิ้นส่วนข้อมูลการนำไปใช้งาน

C_B = แฟกเตอร์งาน(Working Factor)สำหรับเครื่องจักรหมุน(เทอร์ไบน์ที่ใช้กับน้ำและไอน้ำ)

ในการคำนวณความเค้นปฏิบัติจะมีค่า C_B ดังนี้

เครื่องกลทำงานด้วยไฟฟ้า	1,0-1,1
ชุดเครนเครื่องไส , Reciprocating Engine	1,2-1,5
เครื่องตีอัด , เครื่องปั๊มรู	1,6-2,0
ค้อนกล , เครื่องย่อยหิน, เครื่องรีดโลหะ	2,0-3,0

เนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดในเพลามี 2 ลักษณะคือ โมเมนต์ดัดและโมเมนต์หมุนบิด จึงต้องเป็นค่าโมเมนต์รวม ซึ่งได้จาก

$M_c^2 = M_B^2 + 0{,}75 . \alpha_0 . M_t^2$

$$M_c = \sqrt{M_b^2 + 0{,}75 + \alpha_0 + M_t^2} \qquad (2.5)$$

M_c = โมเมนต์รวมมีหน่วยเป็น นิวตัน-มิลลิเมตร (มิลลิเมตร)

M_b = โมเมนต์ดัดสำหรับพื้นที่หน้าตัดน้อยและเป็นอันตราย หน่วยเป็น นิวตัน-มิลลิเมตร (นิวตัน-เมตร)

M_t = โมเมนต์ดัดสำหรับเพลาหาได้จากสมการ (1) แต่หน่วยต้องเป็น นิวตัน-มิลลิเมตร (นิวตัน-เมตร)

α_0 = อัตราส่วนการเกร็งตัวโดย :

α_0 = 0.7 เมื่อภาระการบิดหมุนอยู่ในลักษณะภาระสถิต Static (Dead) Load หรือ ภาระการเปลี่ยนแปลง (Varying Load) หรือเป็นภาระสลับดัด (Alternating Bending Load)

α_0 = 1 เมื่อภาระการหมุนบิดในเพลา จะได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาที่แท้จริงดังสูตร

$$Ø = \sqrt[3]{\frac{M_t}{0,2.\tau_{b.all}}} \qquad (2.6)$$

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงวางแผนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย
2. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ
3. การทดสอบและปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบ
4. ทดสอบและประเมินสมรรถนะของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย

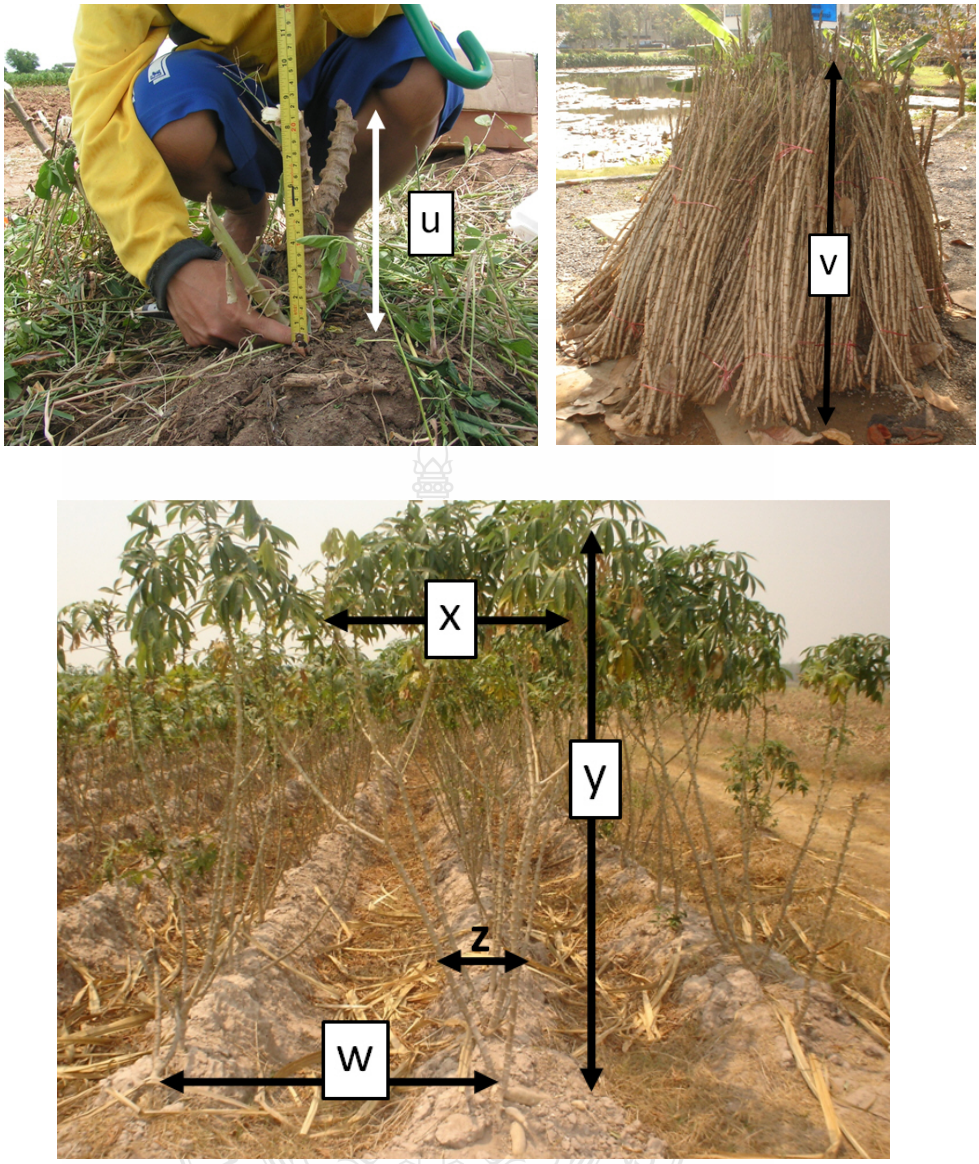
การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากการศึกษาโดยตรงของผู้วิจัยเอง ได้แก่ ปัญหาและวิธีการตัดต้นมันสำปะหลังของเกษตรกรในปัจจุบัน รวมทั้งลักษณะทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังและสภาพของพื้นที่ก่อนการเก็บเกี่ยวต้นพันธุ์มันสำปะหลัง

ก) ปัญหาและวิธีการตัดต้นมันสำปะหลังของเกษตรกรในปัจจุบัน

การศึกษาในขั้นตอนนี้จะใช้ข้อมูลจากกรมวิชาการเกษตร และข้อมูลจากเว็บไซต์ และสัมภาษณ์เกษตรกรโดยตรง เพื่อให้ทราบถึงวิธีการตัดเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลังและปัญหาของเกษตรกร นำข้อมูลเหล่านี้ไปออกแบบเครื่องตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบต่อไป

ข) ลักษณะทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังและสภาพของพื้นที่ก่อนเก็บเกี่ยวต้นมันสำปะหลัง

การศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำโดยการสุ่มวัดต้นมันสำปะหลังพันธ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศไทย คือ พันธ์เกษตรศาสตร์ 50 จำนวน 50 ต้น ซึ่งจะวัดค่าต่างๆ ของต้นมันสำปะหลัง ได้แก่ ความสูงของลำต้นที่เหลือหลังตัด (u) ความสูงของต้นพันธ์มันสำปะหลังหลังตัด (v) ความสูงของต้นมันสำปะหลังก่อนตัด(y) ความกว้างของพุ่มล่าง (z) ความกว้างของพุ่มบน(x) และระยะห่างระหว่างร่อง (w) เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการออกแบบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องต้นแบบ เช่น ชุดตัด ชุดลำเลียงของ ความสูงของตัวเครื่อง ความสูงของชุดใบมีดทั้งชุดตัดลำต้นและชุดตัดยอด และความกว้างของเครื่องเป็นต้น



รูปที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังและสภาพพื้นที่ก่อนการเก็บเกี่ยว

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบ

หลังจากได้การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับต้นมันสำปะหลังที่จำเป็นต่อการออกแบบแล้ว จึงได้นำข้อมูลต่างๆ ที่ได้มาออกแบบเครื่องตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบ โดยใช้หลักทางวิศวกรรมศาสตร์และเขียนแบบด้วยโปรแกรมด้าน CAD แล้ว ซึ่งกำหนดเกณฑ์และรายละเอียดในการออกแบบเครื่องต้นแบบ ดังนี้

ก) เกณฑ์ในการออกแบบ

- สามารถตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังได้ทั้งส่วนบนและส่วนล่างของลำต้น

- สามารถลำเลียงต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่ตัดวางรายไปทางด้านใดด้านหนึ่งของเครื่อง
- ขับเคลื่อนด้วยตัวเองโดยใช้เครื่องยนต์เล็ก
- ใช้ผู้ปฏิบัติงาน1 คน

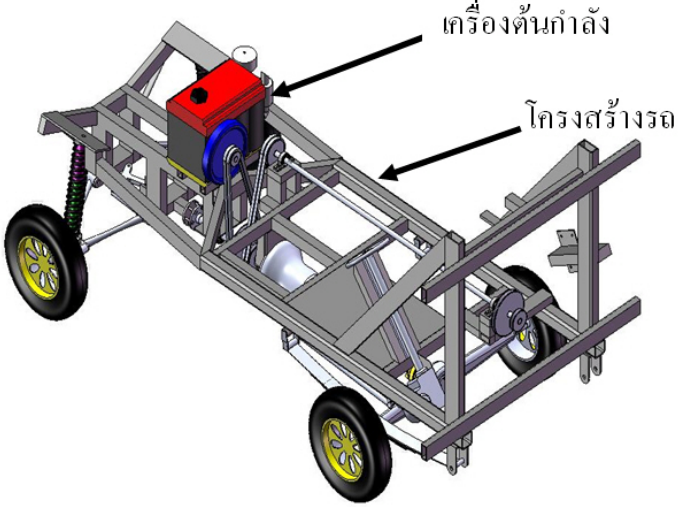
ข) เครื่องตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบที่ได้ออกแบบประกอบด้วย

1. เครื่องต้นกำลังและระบบขับเคลื่อน
2. โครงสร้างของชุดตัด
3. ชุดใบมีดตัด
4. ชุดลำเลียงต้นมันสำปะหลัง
5. ระบบส่งกำลังโดยได้แก่
   - ระบบชุดส่งกำลังของชุดใบมีดตัด
   - ระบบส่งกำลังลำเลียงต้นพันธุ์

โดยมีรายละเอียดในการออกแบบดังนี้

1) เครื่องต้นกำลังและระบบขับเคลื่อน

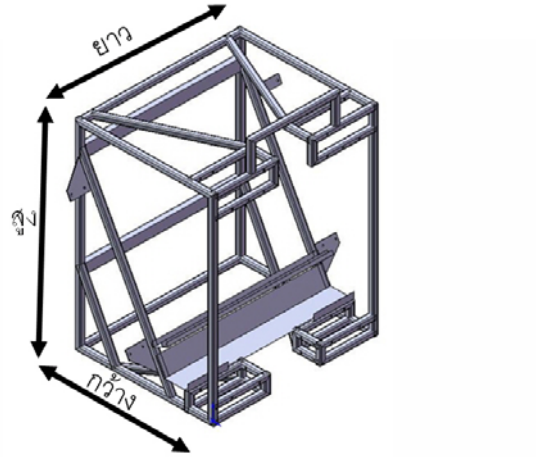
เครื่องต้นกำลังที่ใช้จะใช้เครื่องยนต์ YANMAR รุ่น TF 115-LM 1 สูบ ขนาด 11.5 แรงม้า โครงรถที่ออกแบบใช้เหล็กกล่องขนาด 2 นิ้ว หนา 5 มิลลิเมตร มาเชื่อมต่อกันเป็นโครงรถคล้ายโครงสร้างของรถกระบะ มีความยาว 3 เมตร กว้าง 1 เมตร และสูง 1.5 เมตร ล้อได้ออกแบบให้เป็นระบบขับเคลื่อนล้อหน้า ติดตั้งเบรกดรัมคู่ล้อหน้า ล้อหลังติดชุดรับแรงกระแทกแบบโช๊ค และล้อหน้าใช้แหนบเป็นตัวรับแรงกระแทก ระบบเกียร์และระบบบังคับเลี้ยวจะใช้ระบบเดียวกับรถยนต์ทั่วไปดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องต้นกำลังและระบบขับเคลื่อน

2) โครงสร้างของชุดตัด

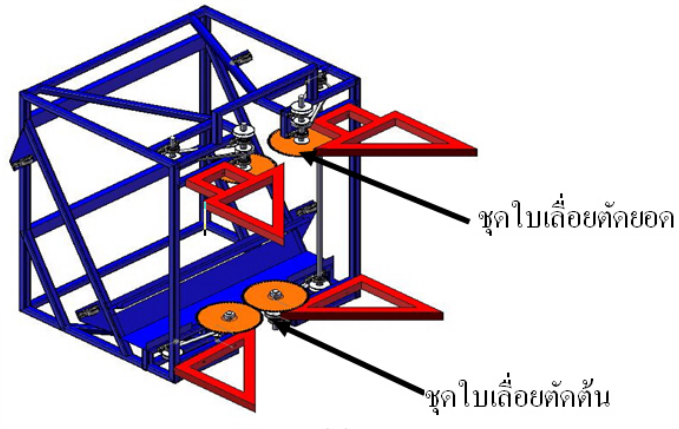
โครงสร้างชุดตัดทำหน้าที่ใช้สำหรับติดตั้งชุดใบมีดและชุดลำเลียงต้นพันธุ์มันสำปะหลัง ใช้เหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตรมาเชื่อมต่อกันให้เป็นโครงดังรูปที่ 3.3 มีความสูง 1.5 เมตร กว้าง 1 เมตร และ ยาว 1 เมตร โดยโครงสร้างของชุดตัดนี้จะติดตั้งอยู่ทางด้านหน้าของตัวรถขับเคลื่อนด้วยนัตและสกรู



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของชุดตัด

3) ชุดใบมีดตัด

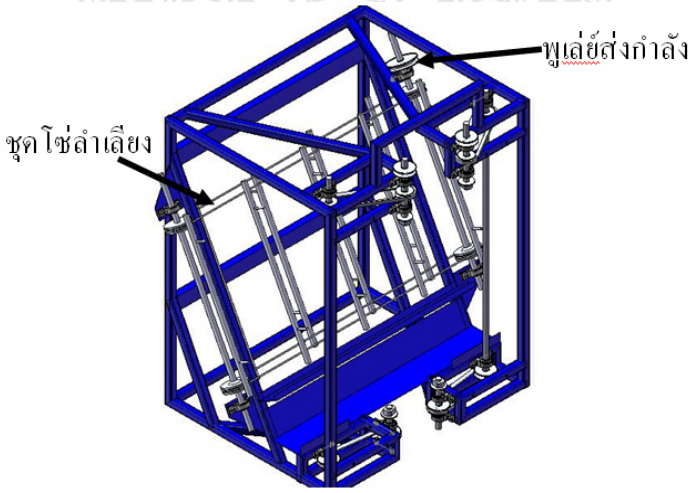
ชุดใบมีดตัดจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ด้วยกันคือชุดใบมีดตัดด้านล่างและใบมีดตัดด้านบน เพื่อทำหน้าที่ตัดส่วนล่างและส่วนบนของต้นมันสำปะหลัง ใบมีดที่ใช้เป็นใบเลื่อยวงเดือน สาเหตุที่ใช้ใบมีดวงเดือนก็เพราะว่า จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังของ Lungkapin และคณะ (2007) พบว่าการตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังด้วยใบเลื่อยวงเดือนมีรอยตัดที่เรียบ ท่อนพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายน้อย จึงได้เลือกใช้ใบเลื่อยวงเดือนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว มีฟัน 60 ฟัน ติดตั้งอยู่ส่วนบนของโครงสร้างของชุดตัด 2 ใบ เพื่อใช้ตัดยอดตัดยอด และติดตั้งอยู่ด้านล่างของเครื่อง 2 ใบเพื่อใช้ตัดยอดลำต้น โดยจะออกแบบให้ชุดใบเลื่อยด้านบนยื่นออกไปด้านหน้ามากกว่าชุดใบเลื่อยด้านล่างเพื่อให้ตัดยอดต้นมันสำปะหลังก่อนที่จะตัดด้านล่างของต้นมันสำปะหลังดังรูปที่ 3.4 นอกจากนั้นยังได้ออกแบบโครงสร้างด้านหน้าให้มีลักษณะเป็นรูปตัววีเพื่อทำหน้าที่รวบต้นพันธุ์ก่อนเข้าสู่ชุดใบมีด



รูปที่ 3.4 ชุดใบมีดตัด

4) ชุดลำเลียงต้นพันธ์มันสำปะหลัง

ชุดลำเลียงต้นพันธ์มันสำปะหลังจะมีหน้าที่คอยลำเลียงต้นมันสำปะหลังที่ถูกตัดผ่านชุดใบมีดให้เคลื่อนที่ไปวางรายทางด้านข้างของเครื่อง โดยจะออกแบบระบบลำเลียงให้วางเอียง 60 องศา เพื่อให้รองรับต้นมันที่ถูกตัดแล้ว ชุดลำเลียงจะใช้เหล็กเพลาขนาด 1 นิ้ว ยาว 85 เซนติเมตร มายึดติดกับโซ่ลำเลียง ที่ปลายทั้ง 2 ข้างของเหล็กเพลาจะมีแท่งเหล็กเล็กๆ ขนาด 8 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตรเชื่อมติดอยู่เพื่อเป็นตัวเกี่ยวต้นมันสำปะหลังให้เคลื่อนที่ ด้านล่างสุดของเพลาจะมีรางรองรับเหล็กเพลาให้เคลื่อนที่ ส่วนโซ่ที่ยึดติดกับเหล็กเพลาจะถูกขับเคลื่อนด้วยรอกโซ่ เพื่อเป็นตัวดึงให้เหล็กเพลาเคลื่อนที่ไปตามราง ดังรูปที่ 3.5

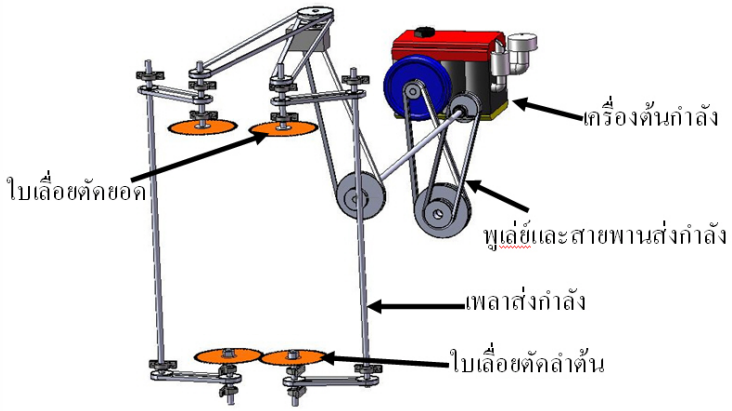


รูปที่ 3.5 ชุดลำเลียงต้นมันสำปะหลัง

5) ระบบส่งกำลัง

5.1) ระบบส่งกำลังของชุดใบมีดตัด

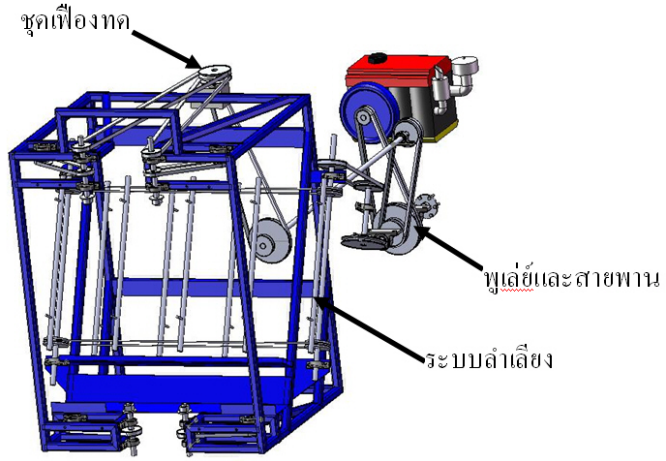
ระบบส่งกำลังของชุดใบมีดตัดจะใช้พู่เลย์สายพานเป็นอุปกรณ์ส่งกำลังจากเครื่องต้นกำลังเพื่อหมุนชุดระบบใบเลื่อยตัดด้านล่างและด้านบนของต้นมันสำปะหลัง ออกแบบโดยการติดตั้งพู่เลย์ไว้ที่ปลายเพลาขนาด 1 นิ้ว ยาว 1.5 เมตร วางตามยาวของตัวโครงรถแล้วติดตั้งพู่เลย์ไว้ด้านบนของโครงชุดตัดเพื่อส่งต่อกำลังไปยังชุดตัดใบมีดตัดยอด ส่วนใบมีดตัดต้นด้านล่างจะรับกำลังมาจากพู่เลยที่ติดอยู่กับเหล็กเพลาขนาด 1 นิ้ว ยาว 1.5 เมตร ที่วางตามแนวตั้งด้านขวาของโครงชุดตัดดังรูปที่ 3.6 ส่วนอัตราการทดของความเร็วรอบของเครื่องต้นกำลังกับใบมีดจะอยู่ที่ 1:2



รูปที่ 3.6 ระบบส่งกำลังของชุดใบมีดตัด

5.2) ระบบส่งกำลังของชุดลำเลียงต้นพันธุ์มันสำปะหลัง

ระบบส่งกำลังของชุดลำเลียงจะทำหน้าที่ส่งต่อกำลังจากเครื่องต้นกำลังไปยังระบบลำเลียงด้วยพู่เลย์และสายพาน ออกแบบโดยการติดตั้งพูเล่ย์ไว้ที่ปลายของเพลาที่ได้ติดตั้งรอกโซ่บริเวณด้านข้างของโครงชุดตัดโดยที่เพลานั้นวางเอียง 60 องศา และพูเล่ย์จะรับกำลังจากพูเล่ย์ที่อยู่กับปลายของเพลาที่วางตามยาวมาจากเครื่องต้นกำลังอีกทีดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.7 ระบบส่งกำลังของชุดลำเลียงต้นพันธุ์มันสำปะหลัง

หลักการทำงานของเครื่อง

เครื่องตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบถูกออกแบบให้ขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง โดยใช้เครื่องยนต์เล็กเป็นต้นกำลัง สามารถตัดต้นพันธ์ได้ทีละร่อง ใช้ผู้ควบคุมเครื่องเพียงคนเดียว เมื่อขับเครื่องตัดเข้าสู่แปลงปลูก ชุดใบมีดตัดที่ติดตั้งทางด้านหน้าตัวเครื่องจะทำหน้าที่ตัดต้นพันธ์ทั้งส่วนล่างและส่วนบนของต้นพันธุ์ และท่อนพันธ์ที่ผ่านการตัดจะถูกชุดลำเลียงลำเลียงไปวางรายทางด้านข้างของเครื่อง การสร้างเครื่องต้นแบบจะสร้าง ณ อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.3 การทดสอบและปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นในการทดสอบเครื่องต้นแบบเบื้องต้นเพื่อหาข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบให้มีความสามารถในการทำงานที่ดีขึ้น โดยจะทำการทดสอบระบบต่างๆ ของเครื่องต้นแบบในสภาวะไม่มีภาระกระทำ (No-Load) และมีภาระกระทำ (Loaded)

3.4 ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบ

เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณการวิจัยที่ได้รับ การทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบในขั้นตอนนี้จะทดสอบในแปลงทดสอบที่จำลองขึ้น ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธุ์ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และจะทำการทดสอบ 3 ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องต้นแบบโดยใช้การเปลี่ยนเกียร์ขับเคลื่อน (เกียร์1 เกียร์ 2 และ เกียร์3 ตามลำดับ) แต่ละการทดลองจะทำซ้ำ 3 ซ้ำ และใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. เตรียมแปลงมันสำปะหลังสำหรับทดสอบ

ต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดสอบ คือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อายุ 11 เดือน

1. สุ่มวัดขนาดของต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ทดสอบจำนวน 50 ต้น
2. ปักต้นพันธุ์มันสำปะหลังเป็นแถวระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 40 cm จำนวน 30 ต้นต่อหนึ่งแถว

ข. ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับตั้งความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้มีความเร็วคงที่ที่ 1,500 rpm
2. ปรับเกียร์ขับเคลื่อนของเครื่องต้นแบบไปที่เกียร์ 1
3. ขับเคลื่อนเครื่องต้นแบบเข้าไปตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่ปักไว้เป็นแถวอย่างต่อเนื่อง
4. บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด (ไม่รวมเวลาปรับแต่งเครื่องและเวลาเลี้ยวหัวงาน) ต้นมันสำปะหลังที่เสียหาย ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำ
5. ทำการทดสอบซ้ำที่เกียร์ 2 และ เกียร์ 3 ตามลำดับ

ค. หาค่าชี้ผลการศึกษา

การทดสอบชุดปลิดหัวมันสำปะหลังมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่อง ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธุ์ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ความสามารถในการทำงาน (ไร่/ชั่วโมง)

$$C_p = \frac{A}{t} \qquad (3.1)$$

เมื่อ A = พื้นที่ในการทำงานจริง (ไร่)

t = เวลาในการทำงานทั้งหมด (ชั่วโมง)

2) เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธุ์ (เปอร์เซ็นต์)

$$\frac{S}{D} \text{x } 100 \qquad (3.2)$$

S = จำนวนต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่เสียหาย (ต้น)

D = จำนวนต้นพันธุ์มันสำปะหลังทั้งหมด (ต้น)

3) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง คำนวณได้จาก

$$\frac{\text{ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร)}}{\text{เวลาในการทำงานทั้งหมด (ชั่วโมง)}} \qquad (3.3)$$

สถานที่ทำการทดสอบ

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากวิธีการดำเนินการวิจัยที่กล่าวมาแล้ว ได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอนประกอบด้วย

1. ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย
2. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ
3. การทดสอบและปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบ
4. ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย

ดังนั้นจึงแยกการเสนอผลการวิจัยและวิจารณ์ผลตามวิธีการดำเนินการวิจัยข้างต้น โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังนี้

4.1 ผลจากการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องตัดวางรายต้นพันธุ์มันสำปะหลัง

4.1.1 ผลการศึกษาปัญหาและวิธีการตัดต้นมันสำปะหลังของเกษตรกรในปัจจุบัน

ผลการศึกษาที่ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกร และผู้รับจ้างเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังจำนวน 25 ราย (เพศชาย 19 ราย เพศหญิง 6 ราย) อายุระหว่าง 20-45 ปี ในเขตอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี สรุปได้ดังนี้

1. แรงงานส่วนใหญ่เป็นแรงงานภายในชุมชน หรือหมู่บ้านใกล้เคียง
2. มันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวมีอายุ 8-12 เดือน
3. การตัดท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยวิธีเดิมใช้ มีด
3. ค่าจ้างแรงงานในการตัด 150-200 บาทต่อคนต่อวันทำงานประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน
4. ปริมาณการตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังต่อคนต่อวัน (ทำงาน 7-8 ชั่วโมง) ประมาณ 1 ไร่ ขึ้นอยู่กับความชำนาญ
5. ปัญหาที่พบในการเก็บเกี่ยวท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง
   - เกษตรกรมีอาการปวดหลังและแขนเรื้อรังเนื่องจากการก้มทำงานตลอดทั้งวัน
   - ขาดแคลนแรงงานสำหรับการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในช่วงการเก็บเกี่ยวอ้อย หรือ ข้าวโพด
6. ปัญหาที่พบเกี่ยวกับรถแทรกเตอร์

จากการที่ได้ลงพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในหลายจังหวัด เช่น จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสระแก้ว และจังหวัดกาญจนบุรี เป็นต้น พบว่ารถแทรกเตอร์รับจ้างที่ใช้งานในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นรถค่อนข้างเก่า ใช้งานได้เฉพาะการต่อพ่วง 3 จุด หรือการลากจูงเท่านั้น ไม่มีระบบส่งกำลังเพลา PTO (ถอดออกหรือเสีย) ซึ่งถือว่าเป็นต้นกำลังที่สำคัญของเครื่องต้นแบบที่ได้ทำการวิจัย เพื่อตัดปัญหาที่จะเกิดจาก

ต้นกำลังดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ตัดสินใจเปลี่ยนต้นกำลังจากเพลา PTO ของรถแทรกเตอร์มาเป็นเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่เกษตรกรมีใช้อยู่ทั่วไป โดยออกแบบให้เครื่องตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบสามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง

4.1.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังและสภาพของพื้นที่ก่อนเก็บเกี่ยวต้นมันสำปะหลัง

จากการสุ่มวัดต้นมันสำปะหลังพันธ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศไทย คือ พันธ์เกษตรศาสตร์ 50 จำนวน 50 ต้น ณ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังและสภาพของพื้นที่ก่อนเก็บเกี่ยวต้นมันสำปะหลัง

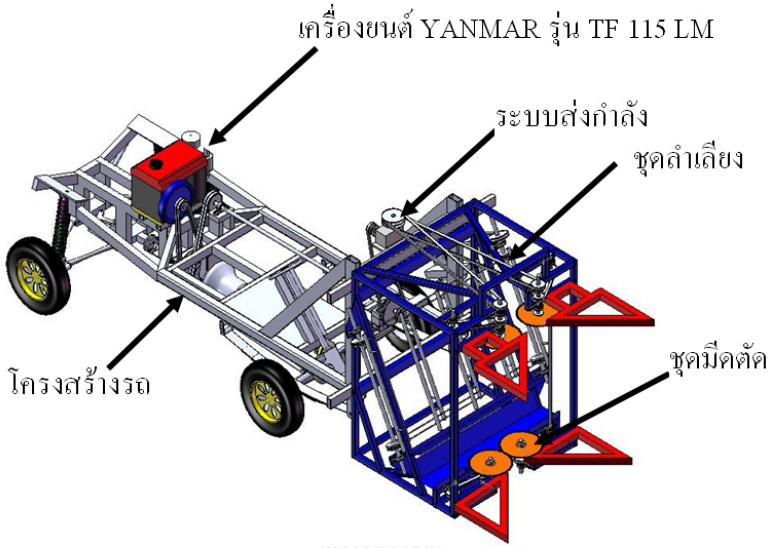
ผลการศึกษา	ความสูงลำต้นที่เหลือหลังตัด (u) cm	ความสูงต้นพันธ์มันสำปะหลังหลังตัด (v) m	ความสูงต้นพันธ์มันสำปะหลังก่อนตัด(y) m	ความกว้างพุ่มส่วนล่าง(z) cm	ความกว้างพุ่มบน(x) cm	ระยะห่างระหว่างร่อง (w) m
ค่าสูงสุด	32.0	2.2	2.7	91.0	96.0	1.4
ค่าต่ำสุด	13.0	1.2	1.7	20.0	1.0	1.0
ค่าเฉลี่ย	21.6	1.6	2.1	51.6	41.0	1.1
S.D.	5.0	0.2	0.2	18.7	37.0	0.1

ผลที่ได้จากการวัดแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำมาใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องตัดพันธ์มันสำปะหลังแบบวางราย เช่น ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นมันสำปะหลัง ความกว้างพุ่มบนและล่าง ความกว้างของร่องมันสำปะหลัง จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบในส่วนของความสูงของโครงสร้างชุดตัด ชุดรวบต้นมันสำปะหลัง ความกว้างของเครื่องตัด ระยะความสูงของใบเลื่อยวงเดือนจากพื้นดิน และระยะห่างระหว่างใบเลื่อยตัดยอดและใบเลื่อยตัดต้น เป็นต้น

4.2 ผลจากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

จากการรวบรวมข้อมูลและศึกษาในหัวข้อที่ 4.1 รวมถึงการประยุกต์ใช้ความรู้ และหลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ในการออกแบบ จึงได้เครื่องตัดต้นพันธุ์มันสำปะหลังแบบวางรายที่มีส่วนประกอบหลัก คือ เครื่องต้นกำลังและระบบขับเคลื่อน โครงสร้างของชุดตัดชุดใบมีดตัด ชุดลำเลียงต้นมันสำปะหลังและระบบส่งกำลังโดยแสดงดังรูปที่ 4.2 และเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังต้นแบบที่สร้างเสร็จแสดงดังรูปที่ 4.3 เครื่องต้นแบบสามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและใช้ผู้ควบคุมเครื่องเพียงคนเดียว เมื่อขับเครื่องตัดเข้าสู่แปลงปลูก ชุดใบมีดตัดที่ติดตั้งทางด้านหน้าตัวเครื่องจะทำหน้าที่ตัดต้นพันธ์ทั้งส่วนล่างและ

ส่วนบนของต้นพันธุ์ และท่อนพันธ์ที่ผ่านการตัดจะถูกชุดลำเลียงลำเลียงไปวางรายทางด้านข้างของเครื่อง



รูปที่ 4.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรม CAD

รูปที่ 4.2 เครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น

4.3 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบและการปรับปรุงแก้ไข

4.3.1 ผลการทดสอบในสภาวะไม่มีภาระกระทำ (No-load)

จากการเดินเครื่องทดสอบในสภาวะไม่มีภาระกระทำ พบว่าเครื่องต้นแบบยังมีข้อบกพร่องที่ชุดลำเลียงเมื่อทำงานจะมีเสียงดังมาก ซึ่งเกิดจากการเสียดสีกันระหว่างโซ่ลำเลียงและรางรองรับโซ่ลำเลียง

เมื่อทดลองนำยางมารองบนรางรับโซ่ลำเลียงสามารถลดเสียงดังได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเปลี่ยนชุดสายพานเป็นสายพานโรงสีดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 การปรับเปลี่ยนระบบลำเลียงเป็นสายพานโรงสี

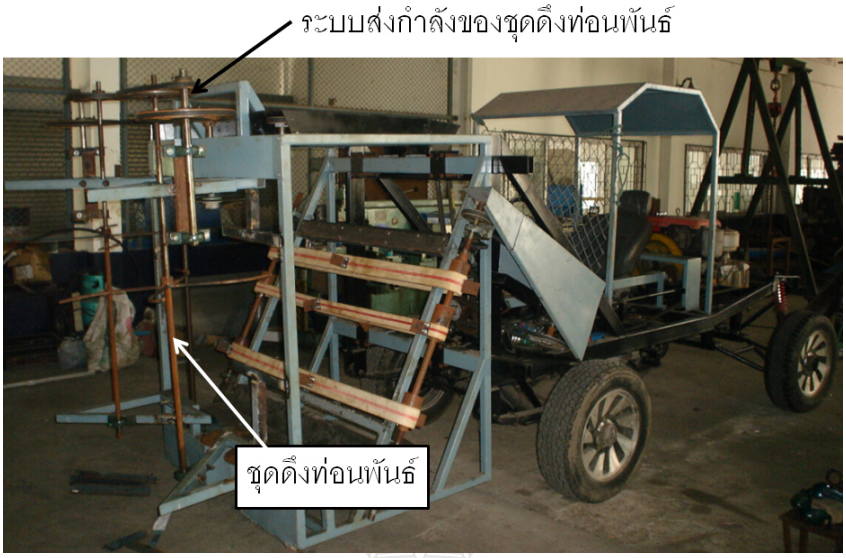
4.3.2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบในขณะมีภาระกระทำ (Loaded)

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบในสภาวะมีภาระกระทำดังรูปที่ 4.4 พบว่าส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องต้นแบบยังมีข้อบกพร่องที่ควรแก้ไขดังนี้

- ระบบส่งกำลังของชุดใบมีดและระบบลำเลียง ควรเพิ่มความตึงของสายพานโดยเพิ่มระยะลูกกลิ้งกดสายพาน เพื่อเพิ่มแรง และลดการลื่นไถลของสายพาน
- ชุดใบมีดตัดต้นพันธุ์ ควรเพิ่มอุปกรณ์ดึงต้นพันธุ์เข้าสู่ชุดใบมีด เนื่องจากต้นพันธ์ที่ถูกโดยชุดใบมีดชุดล่างจะล้มไปด้านหน้าของเครื่องแทนที่จะเข้าสู่ชุดลำเลียง นอกจากนั้นส่วนล่างของลำต้นจะถูกตัดก่อนส่วนบนทั้งที่ได้ออกแบบให้ชุดใบมีดด้านบนยื่นออกมามากกว่าใบมีดชุดล่าง
- ชุดลำเลียงต้นพันธ์ ควรเปลี่ยนชุดสายพานลำเลียงจากโซ่ลำเลียงมาเป็นสายพานโรงสีเพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากการกระแทรกระหว่างต้นพันธุ์มันสำปะหลังและลำเลียงและลดเสียงดัง

รูปที่ 4.4 การทดสอบเครื่องต้นแบบในสภาวะที่มีภาระกระทำ

เมื่อได้แก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ของเครื่องต้นแบบตามข้อเสนอแนะข้างต้นแล้วจะได้เครื่องต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เครื่องต้นแบบหลังจากการแก้ไขข้อบกพร่อง

4.4 ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย

จากการทดสอบการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดต้นพันธ์มันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบในแปลงทดสอบที่จำลองขึ้น โดยใช้ ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธ์ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นค่าชี้ผลการศึกษา และทดสอบที่ 3 ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องต้นแบบได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางราย

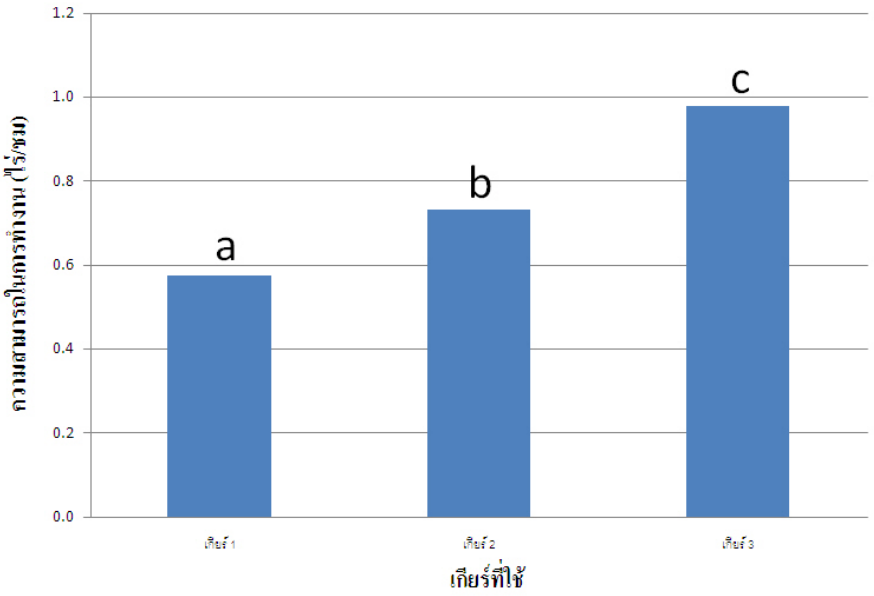
เกียร์ที่ใช้	ความเร็วในการเคลื่อนที่ (กิโลเมตร/ชม.)	ความสามารถในการทำงาน (ไร่/ชม.)	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธ์ (%)	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง	
				(ลิตร/ไร่)	(ลิตร/ชม.)
1	0.9	0.6 (0.03)	4.4(1.57)	1.7(0.11)	1.0(0.09)
2	1.2	0.7(0.03)	12.2(1.57)	1.6(0.03)	1.2(0.06)
3	1.6	1.0(0.04)	17.8(1.58)	1.6(0.11)	1.6(0.08)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บคือค่า S.D.

ก) ความสามารถในการทำงาน

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าความสามารถในการทำงานของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการทำงานของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังวางรายต้นแบบจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการเคลื่อนของเครื่อง โดยมีค่าเท่ากับ 0.6, 0.7 และ 1.0 ไร่ต่อชั่วโมง ที่ความเร็ว 0.9, 1.2 และ 1.6 km/h ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ จะเห็นว่าเมื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการทำงานจะต้องเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ แต่จากการสังเกตขณะทดสอบเมื่อยิ่งเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ จำนวนต้นพันธ์ที่มีความเสียหายมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่นำมาประกอบการเลือกใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมคือเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นมันสำปะหลังนั้นเอง

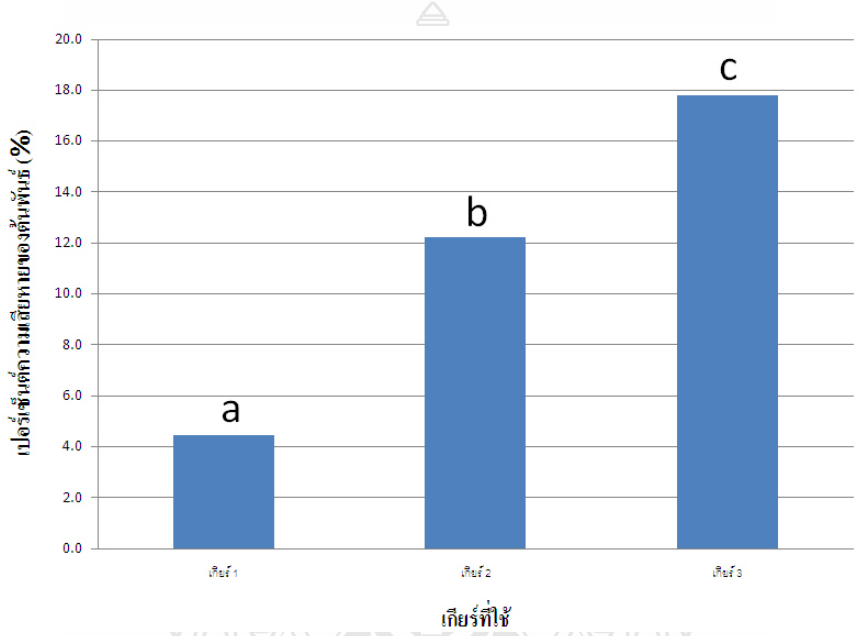


รูปที่ 4.6 ความสามารถในการทำงานของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบที่ความแตกต่างความเร็วในการเคลื่อนที่

ข) เปอร์เซ็นต์การปลิดหัวมันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธ์มันสำปะหลังมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธ์มันสำปะหลังจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการเคลื่อนของเครื่อง โดยมีค่าเท่ากับ 4.4, 12.2 และ 17.8% ที่ความเร็ว 0.9, 1.2 และ 1.6 km/h ตามลำดับ จากการสังเกตต้นพันธ์มันสำปะหลังส่วนใหญ่จะแตกหักเสียหายในขณะที่ถูกลำเลียงอยู่ในชุดลำเลียง และจะเสียหายมากขึ้นเมื่อชุดลำเลียงมีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วที่เพิ่มของชุดลำเลียงนั้นจะทำให้ต้นพันธ์เบียดตัวกันมากขึ้นจึงทำให้ต้นพันธ์เสียหายมากขึ้นนั่นเอง ดังนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสำหรับกับเครื่องต้นแบบควรมีค่าเท่ากับ 0.9 km/h

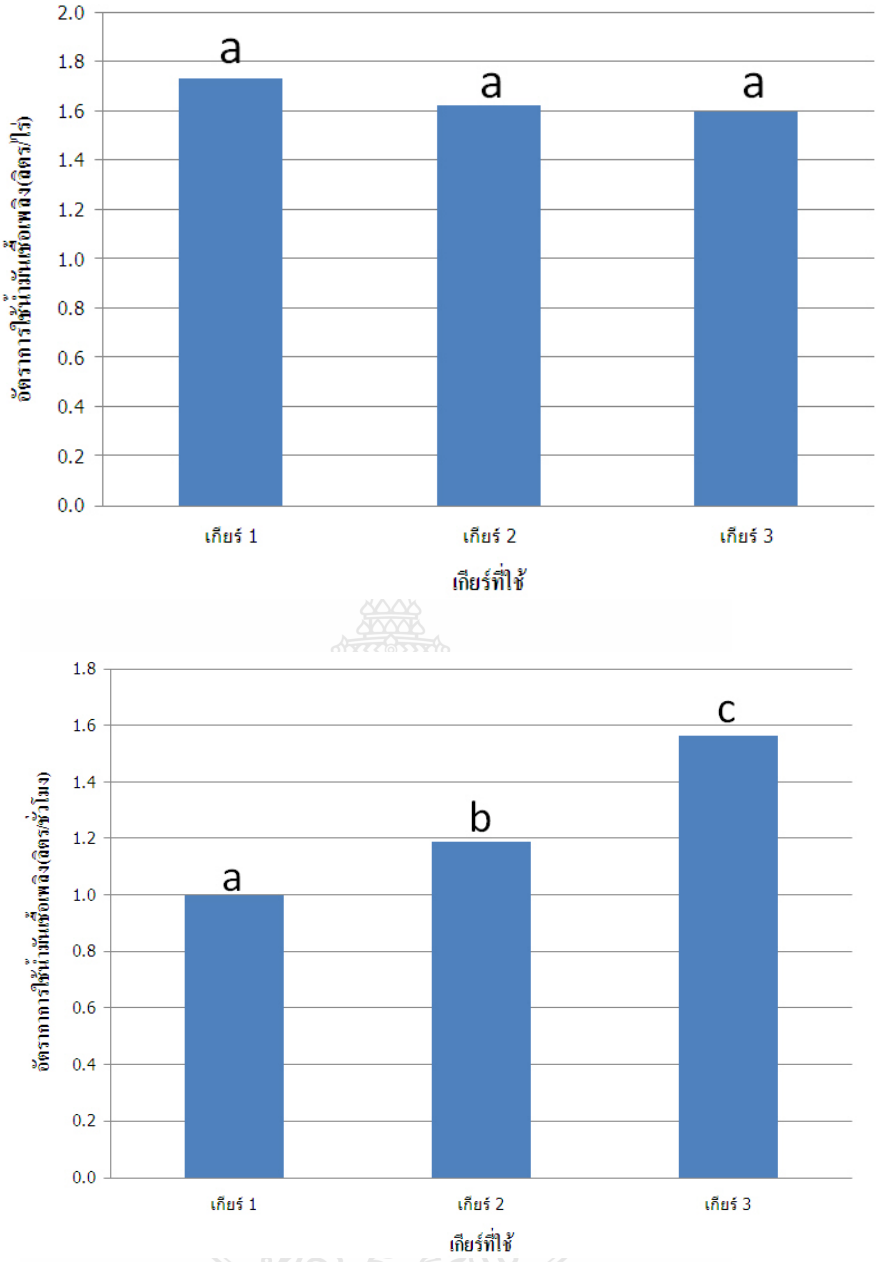


รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของต้นพันธ์มันสำปะหลังที่ความแตกต่างความเร็วในการเคลื่อนที่

ค) อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อคิดเทียบกับพื้นที่ทำงาน แต่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อคิดเทียบกับเวลาในการทำงาน

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็ว 0.9, 1.2 และ 1.6 km/h เมื่อคิดเทียบกับพื้นที่ทำงานมีค่าระหว่าง 1.6-1.7 ลิตรต่อไร่ และมีค่าลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเนื่องจากใช้เวลาในการทำงานลดลง แต่เมื่อคิดเทียบกับเวลาในการทำงานมีค่าระหว่าง 1.0-1.6 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.8 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องตัดต้นมันสำปะหลังแบบวางรายต้นแบบที่ความแตกต่างความเร็วในการเคลื่อนที่

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยรองจากข้าว ยางพารา และอ้อย แต่ละปีประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งของโลก และยังเป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังที่ใหญ่เป็นอันดับ 3 ของโลก จากการศึกษาปัญหาและการตัดและเก็บต้นพันธุ์มันสำปะหลังออกจากต้นแม่เพื่อนำไปปลูกในฤดูกาลต่อไปของเกษตรกรยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก และเสียค่าใช้จ่ายในการตัดเก็บค่อนข้างสูง อีกทั้งปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรกรรมยังทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน โดยเฉพาะฤดูกาลเก็บเกี่ยว เพื่อผ่อนคลายปัญหาดังกล่าวจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องตัดวางรายต้นพันธ์มันสำปะหลังต้นแบบขึ้น โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของต้นพันธ์มันสำปะหลังและวิธีการเก็บเกี่ยวต้นพันธ์มันสำปะหลังของเกษตรกร นำมาออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบหลัก คือ เครื่องต้นกำลังและระบบขับเคลื่อน โครงสร้างของชุดตัด ชุดใบมีดตัด ชุดลำเลียงต้นมันสำปะหลัง และระบบส่งกำลัง โดยเครื่องต้นแบบสามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและใช้ผู้ควบคุมเครื่องเพียงคนเดียว เมื่อขับเครื่องตัดเข้าสู่แปลงปลูก ชุดใบมีดตัดที่ติดตั้งทางด้านหน้าตัวเครื่องจะทำหน้าที่ตัดต้นพันธ์ทั้งส่วนล่างและส่วนบนของต้นพันธุ์ และท่อนพันธ์ที่ผ่านการตัดจะถูกชุดลำเลียงลำเลียงไปวางรายทางด้านข้างของเครื่อง

เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณการวิจัยที่ได้รับ จึงทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงจำลองที่ความเร็ว 0.9, 1.2 และ 1.6 km/h ตามลำดับ พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.9 km/h โดยสามารถทำงานได้ 0.6 ไร่ต่อชั่วโมง มีความเสียหายของต้นพันธ์ 4.4 % และใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.0 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบข้างต้น จะถูกนำไปปรับปรุงเครื่องต้นแบบสำหรับนำไปทดสอบในแปลงปลูกของเกษตรกร เพื่อพัฒนาเครื่องตัดวางรายต้นพันธ์มันสำปะหลังให้สามารถใช้ทดแทนแรงงานคน เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานและยกระดับการเก็บเกี่ยวต้นพันธ์มันสำปะหลังของประเทศไทยต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรออกแบบให้ใบมีดตัดลำต้นสามารถปรับตั้งความสูงของใบมีดได้เพื่อให้สามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่มีความสูงของร่องแตกต่างกัน

2. ควรนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบในพื้นที่ปลูกมันของเกษตรกรหลายๆ พื้นที่ เพื่อหาขอบกพร่องที่จะนำมาพัฒนาเครื่องต้นแบบให้ใช้งานได้จริงต่อไป

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ฐานความรู้ด้านพืช.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.doa.go.th/pl_data/CASS/1stat/st01.html

กองพืชไร่. 2526. **มันสำปะหลัง.** เอกการวิชาการเล่มที่ 7. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.113 น.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ฉนัดงาน. 2535. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 10, บริษัท ซี เอ็ดยูเคชั่น จำกัด. กรุงเทพมหานคร . หน้า 58

วินิต ชินสุวรรณ, 2530**. เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการเบื้องต้น, กรุงเทพฯ.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ; 86-94 น.

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. 2546. **ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล1**. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, ปทุมธานี . หน้า 1-295

มานพ ตันตระบัณฑิตย์.2536.**ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล2.**คณะวิศวกรและเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, ปทุมธานี . หน้า 1-352

การสำรวจภาวการณ์ผลิตและการค้ามันสำปะหลัง สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย ฤดูการผลิตปี 2552/53 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก**http://www.ttta-tapioca.org/web2/news_03.php**

สุดใจ สูนาสวน และ คณะ. 2554. **รายงานผลการศึกษาสินค้าเกษตรประเภทมันสำปะหลัง**, กลุ่มทำงานศึกษาและวิเคราะห์สินค้าเกษตรประเภทมันสำปะหลัง, สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.aftc.or.th/itc/uploads/documents/Case_study_of_cassava.pdf

Chaiyan Sirikun. 2009. “Development of a Cassava Stem and Leaves Harvester.” Agricultural Systems and Engineering, School of Environment, Resources and Development , Asian Institute of Technology.

Lungkapin, J., V. M. Salokhe, R. Kalsirisilp. and N. Nakashima. 2007. Development of a stem cutting unit for a cassava planter. Agricultural Engineering International–the CIGR E-journal, Manuscript PM 07 008, Vol. IX, July 2007.

Sinthuprama, S. (1980). Cassava Cultural Practices: Cassava plant system in Asia. In: Proceedings of the workshop held in Salvador, Bahia, Brazil, 18-21 March 1980, pp. 50-53.