รายงานการวิจัย

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

A design and development of Semi-Automatic Cassava Chipper

รังสรรค์ พงษ์พัฒนอำไพ

ปพณ สะอาดยวง

ณมน วรธนานุวงศ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัยปีงบประมาณ 2561)

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

A design and development of Semi-Automatic Cassava Chipper

รังสรรค์ พงษ์พัฒนอำไพ

ปพณ สะอาดยวง

ณมน วรธนานุวงศ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัยปีงบประมาณ 2561

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องนี้เริ่มดำเนินการวิจัยจนได้ผลการวิจัย และเสร็จสมบูรณ์เรียบร้อยนั้น โดยได้รับการสนับสนุนจากคณะผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องหลายหน่วยด้วยกัน ได้แก่ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปีพ.ศ.2561 ในการดำเนินการงานวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี และหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร จังหวัดมหาสารคาม ที่ให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ คณะผู้ทำงานวิจัยหวังว่าเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานวิจัยเล่มนี้จะมีประโยชน์แก่นักวิจัย นักวิชาการเกษตร ตลอดจนเกษตรกร และผู้สนใจโดยทั่วไปที่จะได้ศึกษาและพัฒนา และนำเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

คณะผู้วิจัย

2561

หัวข้อวิจัย การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ
ผู้ดำเนินการวิจัย นายรังสรรค์ พงษ์พัฒนอำไพ
นายปพณ สะอาดยวง
ว่าที่ร้อยตรีหญิงณมน วรธนานุวงศ์
หน่วยงาน สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า และสาขาวิชาคอมพิวเตอร์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ปี พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ เพื่อออกแบบพัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลัง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพความสามารถการทำงานของเครื่องสับมันสำปะหลัง และเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของเครื่องสับมันสำปะหลังระบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น เครื่องนี้จะประกอบไปด้วยถังบรรจุหัวมันสำปะหลัง, ใบมีดสองใบ, เพลา, มอเตอร์ไฟฟ้า และสายพานลำเลียง ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ทดลองจะเป็นแบบเฟสเดียว ขนาด 3 แรงม้า

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพบว่า ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง และขนาดรูปร่างของชิ้นมันเส้น โดยความเร็วรอบของเครื่องสับที่ทำทดสอบอยู่ระหว่าง 300-400 รอบต่อนาที ผลการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมพบว่าความเร็วรอบของเครื่องสับที่ 400 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพของเครื่องเท่ากับ 94.45% มีความสามารถในการสับได้เท่ากับ 2,091.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (2.09 ตันต่อชั่วโมง) และผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น มีต้นทุนค่าใช้จ่ายของมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.04 บาทต่อชั่วโมง (4.14 บาทต่อตัน) ซึ่งถ้านำเครื่องสับมันสำปะหลังไปใช้งานสับมันสำปะหลังในแต่ละปี สามารถผลิตมันเส้นได้เท่ากับ 6,102.80 ตันต่อปี ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี เครื่องสับเครื่องนี้จะง่ายต่อการนำไปใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องเหมาะสำหรับเกษตรขนาดเล็กและขนาดกลาง

Research Title A design and development of Semi-Automatic Cassava Chipper

Researcher Mr. Rungsun Pongpattanaumpai

Mr. Papol Sardyoung

Acting 2Lt. Namon Vorathnanuwong

Organization Agricultural Machinery Technology. Faculty of Agricultural Technology. Rajabhat Maha Sarakham University and Faculty of Industrial Technology. Thepsatri Rajabhat University.

Year 2018

ABSTRACT

This research study aimed to design and develop the semi-automatic cassava chopper. It was also aimed to test the efficiency and capability of this cassava chopper, and to analyze the production costs of this machines. The machine majorly consisted of a container hopper, two chipping blades, shaft, electric motor and conveyor belt. The size of the electric motor that required was a single phase and 3 horse-power.

The results of test the efficiency of this machine showed that electric motor speed has an effects on the chopping machine of capacity and efficiency as well as the size and shape of cassava chips of geometry. The speed of the machine under testing between 300-400 rpm. The result of test the overall machine efficiency showed that the overall best performance of the machine was obtained on a speed of 400 rpm. The efficiency of this machine was equaled to 94.45%. It had the chopping capacity that was equaled to 2,091.37 kg. per hour. (2.09 tons per hour). Additionally, the result of the production-cost analysis of this generated semi-automatic cassava chopping machine showed that it had the cost of payment for the electric motor which was the original power source. The maximum power consumption was equaled to 8.04 bahts per hour (4.14 bahts per ton). This machine was applied to chop the cassava for each year that was produced chips equal to 6,102.80 tons per year. This chopping which machine also had a good efficiency, and was easy to use, to maintain to proper to use for the small and medium sized of agriculture.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ฉ
สารบัญภาพ ช

บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
ขอบเขตการวิจัย 2
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ) 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
มันสำปะหลัง 4
ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกล 17
หลักการลดขนาดของวัสดุ 39
แรงที่ทำให้วัสดุแตกหรือขาดออกจากกัน 40
การเคลื่อนที่ของใบมีดและการป้อน 42
ลักษณะการตัดของพืช 43
การสับย่อยหัวมันสำปะหลัง 46
ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า 47
การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ 57
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 58
กรอบแนวคิดในการวิจัย 65

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย **66**
การศึกษาด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ 66
การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ 77
วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ 80
แผนการดำเนินงานศึกษาวิจัย 82

บทที่ 4 ผลการวิจัย **83**
ผลการศึกษาวิจัยออกแบบและพัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ 83
ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ 83
ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ 88

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ **90**
สรุปผลการวิจัย 90
อภิปรายผล 91
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ 92
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป 92

บรรณานุกรม **93**
บรรณานุกรมภาษาไทย 93
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ 96

ภาคผนวก **97**
ภาคผนวก ก การคำนวณขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง 98
ภาคผนวก ข ตารางประกอบการคำนวณการออกแบบเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง 101

ประวัติผู้วิจัย **114**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงองค์ประกอบต่างๆของหัวมันสำปะหลัง	7
2.2	แสดงช่วงที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลังของแต่ละภาค	12
2.3	แสดงผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดของประเทศไทย ปีพ.ศ.2561/2562	13
2.4	ขนาดเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775 -1969	19
2.5	ค่าระยะของสายพานลิ่ม	31
2.6	ชนิดของการต่อ (Weld Joint) ในการเชื่อมโลหะ	37
4.1	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที	83
4.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่ความเร็วรอบ 350 รอบต่อนาที	85
4.3	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที	86
ข-1	ตัวประกอบการใช้งาน N_S สาหรับสายพานลิ่ม	102
ข-2	ความยาวพิชต์ที่มีใช้ $L_p = L_i + 43$ mm	104
ข-3	ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_1	104
ข-4	สมรรถนะในการส่งกาลังของสายพานลิ่มหน้าตัด B ต่อเส้น	105
ข-5	ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส Na สำหรับสายพานลิ่ม	106
ข-6	คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้ารีดร้อน HR และเหล็กกล้ารีดเย็น CD	107
ข-7	แสดงค่าความยาวมาตรฐาน L_S และตัวประกอบ	108
ข-8	ขนาดลิ่มมาตรฐานที่ใช้กับเพลาขนาดต่างๆ	109
ข-9	แสดงค่าต่างๆ สำหรับเหล็กรีดร้อน และรีดเย็นเป็นค่าประมาณ	110
ข-10	แสดงค่าการเปลี่ยนความยาวสำหรับสายพานธรรมดาใช้งานหนักขนาดเป็นนิ้ว	110
ข-11	แสดงค่าคงที่ใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง	111
ข-12	แสดงค่าตัวประกอบสัดส่วนความเร็วเพื่อใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง	111
ข-13	แสดงค่าตัวประกอบการใช้งาน K_a ที่แนะนำให้ใช้สำหรับสานพานตัว V	112
ข-14	แสดงค่าตัวประกอบความเชื่อถือได้ (K_b)	112
ข-15	ค่าตัวประกอบความล้า	113
ข-16	ปัจจัยรับแรงทาง Radial เทียบเท่า	113

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ป้อนด้วยมือ	1
2.1	การแพร่กระจายของมันสำปะหลังจากแหล่งกำเนิด	4
2.2	แสดงรูปร่างลักษณะของหัวมันสำปะหลัง	5
2.3	แสดงรูปร่างหรือรูปทรงของหัวมันสำปะหลัง	6
2.4	แสดงลักษณะของหัวมันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวาง	7
2.5	แสดงลักษณะลำต้น (Stem) มันสำปะหลัง	8
2.6	แสดงลักษณะใบ (Leaf) มันสำปะหลัง	8
2.7	แสดงลักษณะดอกตัวผู้ (staminate flower) มันสำปะหลัง	9
2.8	แสดงลักษณะดอกตัวเมีย (pistillate flower) มันสำปะหลัง	9
2.9	แสดงลักษณะเมล็ด (Seed) มันสำปะหลัง	10
2.10	แสดงแหล่งปลูกและผลผลิตของหัวมันสำปะหลังสด	12
2.11	แสดงการแปรรูปและการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง	17
2.12	รูปร่างลักษณะของเพลา	17
2.13	แสดงแรงที่กระทำกับลิ่ม	20
2.14	แสดงลิ่มเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน	20
2.15	แสดงลักษณะของตลับลูกปืน	21
2.16	แสดงลักษณะของบอลแบริ่ง	22
2.17	แบริ่งชนิดต่าง ๆ	22
2.18	รูปโครงสร้างแรงปฏิกิริยาและขนาดของสายพานลิ่ม	24
2.19	แสดงลักษณะของสายพานลิ่มแบบต่างๆ	25
2.20	แสดงลักษณะล้อสายพานไขว้ กึ่งไขว้ และลักษณะเปิด	26
2.21	สายพานกับล้อสายพาน	27
2.22	รูปร่างลักษณะล้อสายพานแบน	28
2.23	ล้อสายพานลิ่ม	29
2.24	การส่งกำลังด้วยสายพานอัตราทดชั้นเดียว	29
2.25	การส่งกำลังด้วยอัตราทดหลายชั้น	30
2.26	สายพานลิ่ม	31
2.27	แสดงการกวดสายพานให้แน่นตึง	34

2.28	แสดงไดอะแกรมภาระแรงที่ปรากฏบนระนาบสายพาน	35
2.29	แสดงการไหลซึมของน้ำโลหะบริเวณแนวเชื่อม	37
2.30	แสดงลักษณะเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (Structural Steel)	38
2.31	แสดงการตัดแบบมีด	40
2.32	แสดงหัวสับชนิดจานกลม	41
2.33	แสดงหัวสับชนิดทรงกระบอก	41
2.34	แสดงการเคลื่อนที่ของใบมีดแบบ Stickle bar	42
2.35	แสดงการเคลื่อนที่ของใบมีดแบบ Rotary cutter	42
2.36	แสดงการเคลื่อนที่ของใบมีดแบบ Rotary	43
2.37	แสดงลักษณะการตัดแบบ Solid cut	43
2.38	แสดงลักษณะการตัดแบบ Chip – forming cut	43
2.39	แสดงลักษณะการตัดแบบ Plastic cut	44
2.40	แสดงลักษณะการตัดแบบ Solid cut after compression	44
2.41	แสดงลักษณะการตัดแบบ Cut in local tension	44
2.42	แสดงลักษณะการตัดแบบ Wedging cut	45
2.43	แสดงลักษณะการตัดแบบ Chip forming cut	45
2.44	แสดงลักษณะการตัดแบบ Bending cut	45
2.45	แสดงลักษณะการตัดแบบ Tearing cut	45
2.46	แสดงลักษณะการตัดแบบ Scraping cut	46
2.47	แสดงลักษณะการตัดแบบ Slicing cut	46
2.48	แสดงลักษณะสปลิทเฟสมอเตอร์	48
2.49	แสดงลักษณะคาปาซิเตอร์มอเตอร์	49
2.50	แสดงลักษณะรีพัลชั่นมอเตอร์	49
2.51	แสดงลักษณะยูนิเวอร์แซลมอเตอร์	50
2.52	แสดงลักษณะเช็ดเด็ดโพลมอเตอร์	50
2.53	แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกด	53
2.54	แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกดเปิดและปิดในกล่องเดียวกัน	53
2.55	แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน	53
2.56	แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบ	53
2.57	แสดงลักษณะแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์	54
2.58	แสดงลักษณะโอเวอร์โหลดรีเลย์	54

2.59	แสดงลักษณะทามเมอร์รีเลย์	54
2.60	แสดงผังการควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ	55
2.61	แสดงหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์	55
2.62	แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์	56
2.63	แสดงเครื่องตัดมันสำปะหลังของ J.O. Awulu. และคณะ	62
2.64	แสดงเครื่องสับหัวมันสำปะหลังของ Aji I. S. และคณะ	63
2.65	แสดงเครื่องตัดมันสำปะหลังของ Agulanna C.N. และคณะ	63
2.66	แสดงเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังของ M.C. Ndukwua. และคณะ	64
2.67	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	65
3.1	แสดงลักษณะสายพานลำเลียงที่เขียนแบบและออกแบบพัฒนาขึ้น	67
3.2	แสดงการจัดเตรียมซื้อวัสดุระบบสายพาน	67
3.3	แสดงการขึ้นรูปโครงสร้างตัวฐานเครื่องสายพานลำเลียง	68
3.4	แสดงลักษณะลูกกลิ้งสายพานลำเลียงที่ผ่านการกลึง	68
3.5	แสดงการประกอบลูกกลิ้งสายพานลำเลียงตัวบนและตัวล่าง	69
3.6	แสดงลักษณะของสายพานลำเลียงที่ประกอบเข้ากับโครงสร้างฐานเครื่อง	69
3.7	แสดงลักษณะการตัดโลหะแผ่นให้ได้ตามแบบ	69
3.8	แสดงการยึดกะบะถังบรรจุหัวมันสำปะหลัง	70
3.9	แสดงการประกอบยึดล้อเหล็กเข้ากับโครงสร้างฐานเครื่องสายพานลำเลียง	70
3.10	แสดงลักษณะระบบส่งกำลังและเพลาขับสายพานลำเลียง	70
3.11	แสดงลักษณะของชุดปรับความตึง-หย่อนของระบบสายพาน	71
3.12	แสดงลักษณะถาดพักรองรับวัตถุดิบหัวมันสำปะหลัง	71
3.13	แสดงการติดตั้งพูลเล่ย์ชุดระบบส่งกำลังเข้ากับเพลา	71
3.14	แสดงการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ายึดเข้ากับฐานของเครื่อง	72
3.15	แสดงเครื่องชุดสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลังต้นแบบที่พัฒนาสร้างขึ้น	72
3.16	แสดงกะพ้อถังบรรจุหัวมันสำปะหลังของเครื่องสับ	73
3.17	แสดงลักษณะใบมีดของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง	74
3.18	แสดงการตกแต่งผิวชิ้นงานและพ่นสีจริง	74
3.19	แสดงการติดตั้งประกอบพูลเล่ย์ยึดกับเพลา	75
3.20	แสดงการติดตั้งล้อเหล็กที่โครงสร้างฐานของเครื่องสับ	75
3.21	แสดงการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ายึดเข้ากับฐานของเครื่อง	75
3.22	แสดงรูปร่างลักษณะของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังต้นแบบที่พัฒนาสร้างขึ้น	76

3.23	แสดงการเตรียมอุปกรณ์เครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่พร้อมทดสอบ	78
3.24	แสดงการชั่งน้ำหนักหัวมันสำปะหลังก่อนเข้าเครื่องลำเลียง	78
3.25	แสดงการนำหัวมันสำปะหลังที่ผ่านการชั่งเข้าเครื่องสายพานลำเลียง	79
3.26	แสดงเครื่องสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องสับ	79
3.27	แสดงลักษณะชิ้นมันเส้นที่ผ่านเครื่องสับ	79
3.28	แผนการดำเนินงานศึกษาวิจัย	82
4.1	แสดงประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที	84
4.2	แสดงประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบ 350 รอบ/นาที	85
4.3	แสดงประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบ 400 รอบ/นาที	87

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีศักยภาพด้านการตลาด เนื่องจากสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ประโยชน์ได้นานาประการ ทั้งในรูปอาหารและมิใช่อาหาร เช่น มันเส้นมันอัดเม็ด ใช้เป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ และผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์สำหรับแป้งมันสำปะหลังใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร สารความหวาน ผงชูรส สิ่งทอ กระดาษ เป็นต้น รวมทั้งเอทานอล และภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งในอนาคตจะมีการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมากยิ่งขึ้น

ในปีพ.ศ. 2551 จากสถิติของเกษตรกรในประเทศไทย มีผู้เลี้ยงโคนมประมาณ 4.7 แสนตัว หากใช้มันเส้นมาผสมอาหารเสริมจะมีคุณค่าพลังงานสูง ทำให้โคนมให้น้ำนมได้สูงขึ้น 13% และยังลดต้นทุนค่าอาหารลง 37% (จิระชัย, 2551) จึงมีความต้องการใช้มันเส้นผสมอาหารสัตว์มูลค่าประมาณ 500 ล้านบาทต่อปี และมีแนวโน้มมากขึ้นตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ และการเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศ ในปัจจุบันมีการนำมันเส้นที่ผลิตจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ ตามลานมันทั่วไปมาใช้ ซึ่งเป็นมันเส้นที่ไม่สะอาด ทำให้มีผลเสียต่อคุณภาพอาหารสัตว์ที่ผสม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของสัตว์ต่างๆที่เลี้ยงลดลง (สุกัญญา, 2545)

อย่างไรก็ดี แม้ว่ามันเส้นจะเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมต่างๆมากมายแต่การผลิตมันเส้นเพื่อให้ได้คุณภาพ เป็นสิ่งที่ทำได้ยากดังนั้นกระบวนการผลิตมันเส้น จะมีขั้นตอนการแปรรูปมันสำปะหลังให้ได้มันเส้นที่มีคุณภาพที่ดีนั้น จะประกอบไปด้วยการทำความสะอาด การสับ และการทำให้แห้งเป็นต้น การสับหัวมันสำปะหลังโดยทั่วไปจะใช้แรงงานคนทำงาน จึงต้องใช้ต้นทุนสูงและเป็นอันตรายกับมือ ส่วนเครื่องสับที่มีขายตามท้องตลาดราคาถูกยังคงใช้แรงงานคนในการลำเลียงวัตถุดิบเข้าเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ซึ่งจะใช้แรงงานคนจำนวนมากอย่างน้อยต้อง 2 คนขึ้นไป และการใช้แรงงานคนจะเกิดการเหนื่อยล้าเมื่อมีการสับหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณจำนวนมาก (ดังภาพที่ 1.1)

ภาพที่ 1.1 แสดงเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ป้อนด้วยมือ

ดังนั้นตามโรงงานมันสำปะหลังก็จะที่มีเครื่องสับมันที่มีขนาดใหญ่มาก เวลาเครื่องทำงานสับหัวมันสำปะหลังก็จะได้ขนาดของชิ้นมันเส้นที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการตากแดด เพื่อลดความชื้นเป็นเวลานานและเกิดเชื้อราได้ง่าย และบางส่วนชิ้นมันมีขนาดเล็กและมีเศษฝุ่นผสมมากับดินด้วย จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรชุมชนมีความต้องการชิ้นมันที่สะอาด เครื่องสับสามารถสับชิ้นมันให้เป็นแผ่นบางๆ ให้ได้ความหนาที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้ตากแห้งได้เร็วขึ้น ไม่เกิดเชื้อราง่าย จึงเหมาะกับเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้อย่างมีคุณภาพที่ดี

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น คณะผู้ศึกษาวิจัยจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าพัฒนาเครื่องสับที่มีขายตามท้องตลาดในประเทศไทย ตลอดจนได้นำหลักการออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล และมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่มีขายตามท้องตลาด ให้มีความทันสมัยยิ่งขึ้นให้สามารถทำงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ และสามารถสับผลิตผลทางการเกษตรที่มีความหลากหลาย โดยมีระบบการป้อนของมันสำปะหลังเข้าเครื่องสับมันเป็นแบบสายพานลำเลียง (Feed Belt) ขับเคลื่อนด้วยต้นกำลังของมอเตอร์พัฒนาระบบควบคุมความเร็วรอบของใบมีดหมุนสับมันที่สามารถปรับเพิ่ม-ลดความเร็วรอบได้เพื่อหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการสับมันขณะการทำงาน ใช้ แรงงานคนเดียวในการควบคุม ให้สามารถทำงานของเครื่องได้ต่อเนื่องเครื่องมีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้สะดวก เหมาะกับเกษตรที่นำไปใช้งานสามารถทดแทนแรงงานที่ขาดแคลนได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลังระบบกึ่งอัตโนมัติ
2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องสับมันสำปะหลังระบบกึ่งอัตโนมัติ
3. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของเครื่องสับมันสำปะหลังระบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น

ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนาให้มีระบบการป้อนหัวมันสำปะหลัง เข้าไปหาคมมีดที่หมุนตัดเป็นระบบแบบสายพานลำเลียง (Feed Belt) เพื่อลดการใช้แรงงานคน และสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง

2. ออกแบบและพัฒนาใบมีดสับหัวมันสำปะหลัง โดยการพัฒนาใช้วัสดุทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) จำนวนใบมีดสับตัดหัวมันสำปะหลังอย่างน้อย 2 ใบมีด เป็นหลัก โดยสามารถปรับเพิ่มจำนวนมีดตัดได้ เพื่อสามารถสับผลิตผลทางเกษตรได้หลากหลาย

3. ออกแบบและพัฒนาปรับเพิ่ม-ลดจำนวนความเร็วรอบหมุนของใบมีดสับได้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไปสับวัสดุทางการเกษตรที่หลากหลายได้ ใบมีดสับสามารถถอดลับคมตัดหรือเปลี่ยนใหม่ได้เมื่อมีอายุการใช้งานไปนาน ทำให้ความคมของใบมีดลดลงและหมดสภาพไป ซึ่งระบบการควบคุม

การทำงานของระบบไฟฟ้าการเปิด-ปิดของตัวเครื่องจะเป็นระบบแบบกึ่งอัตโนมัติ เป็นเทคโนโลยีและนวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบบครบวงจร ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในระดับเกษตรกรและชุมชน โดยมีเป้าหมายในการทำงานที่มีประสิทธิภาพ เพิ่มการสับหัวมันสำปะหลังได้โดยปริมาณอย่างน้อย 1 ตันต่อชั่วโมง

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)

เครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ หมายถึง เครื่องที่ใช้ในการสับหัวมันสำปะหลัง ให้ได้ตามขนาด และชิ้นมันเส้นที่ได้มาตรฐาน การควบคุมการทำงานได้ต่อเนื่อง ลดการใช้แรงงานคน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ชุมชนเกษตรกร ผู้ปลูกมันสำปะหลังเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมันสำปะหลัง ลดต้นทุนในปัจจัยการผลิต ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และชุมชนเข้มแข็งพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

2. เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้อย่างยั่งยืนของภาคการผลิต จากผลิตภัณฑ์หัวมันสำปะหลัง

3. ได้ผลิตภัณฑ์การแปรรูปหัวมันสำปะหลังที่มีประสิทธิผล และมีคุณภาพที่สูงขึ้น

4. เพิ่มผลผลิต และมูลค่าของอุตสาหกรรมมันสำปะหลังที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

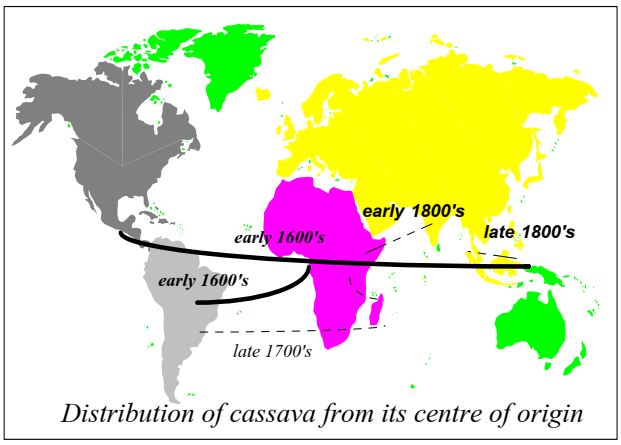
5. ภายหลังเสร็จสิ้นการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยคาดว่าจะได้ข้อมูลของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องเครื่องสับหัวมันสำปะหลังสำหรับการผลิตชิ้นมันเส้นเป็นส่วนผสมอาหารโคนม และเป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาให้เหมาะสมต่อสัตว์อื่นๆต่อไป

6. ได้นวัตกรรมเครื่องสับหัวมันสำปะหลังทางการเกษตร เพื่อใช้ในกระบวนการเรียนการสอนในรายวิชา เครื่องมือแปรรูปผลิตผลทางเกษตรของนักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา(Cassava) หรือ ทาปิโอก้า (Tapioca) ประเทศแถบทวีปแอฟริกา เรียกชื่อ ภาษาฝรั่งเศส ว่า แมนิออค (Manioc) มันสำปะหลังจะมีถิ่นกำเนิดจากแถบอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ได้แก่ประเทศบราซิล,แถบชายฝั่งทะเลคาริบเบียน, โคลัมเบีย, เวเนซูเวลา, เม็กซิโก, กัวเตมาลา, ฮอนดูรัส และเปรู โดยพบพันธุ์ป่าและเมล็ดมันสำปะหลังที่มีอายุเก่าแก่ประมาณ 4,000 ปีต่อมามันสำปะหลังได้มีการแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดไปสู่ทวีปแอฟริกาในราวปี คศ.ที่15 เรื่อยมาจนถึง คศ.ที่ 18 สำหรับในทวีปเอเชียนั้นพบว่ามีการแพร่กระจายของมันสำปะหลังเข้ามาสู่ประเทศอินเดีย ในราวต้น คศ.ที่ 18 จากนั้นราวปลาย คศ.ที่ 18 ก็ได้มีการแพร่กระจายเข้าสู่ประเทศฟิลิปปินส์และอินโดนีเซีย แล้วแพร่มายังประเทศมาเลยเซีย และเข้ามายังประเทศไทยในที่สุด ทั้งนี้เป็นไปตามการขยายอาณานิคมของชนชาติยุโรป (ดังภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 การแพร่กระจายของมันสำปะหลังจากแหล่งกำเนิด

ประเทศไทยได้มีการปลูกมันสำปะหลังเชิงการค้ามาเป็นเวลานานกว่า 30 ปี มันสำปะหลังได้นำเข้ามาปลูกครั้งแรกในประเทศไทยที่ภาคใต้ เพื่อใช้ทำแป้งและสาคูต่อมาได้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกมายังภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดใกล้เคียง เนื่องจากมีสภาพดินฟ้าอากาศ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูก/การแปรรูปมันสำปะหลัง (มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ทั่วไป ยกเว้นในแถบที่ชุ่มฝนตก หรือดินเกลือเค็ม) ดังนั้นจึงมีการขยาย

พื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็วไปสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งปัจจุบันได้กลายเป็นแหล่งปลูกที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย และทำรายได้ให้แก่เกษตรไทยมากรองจากยางพารา, อ้อย และข้าว (กรมวิชาการเกษตร, 2528)

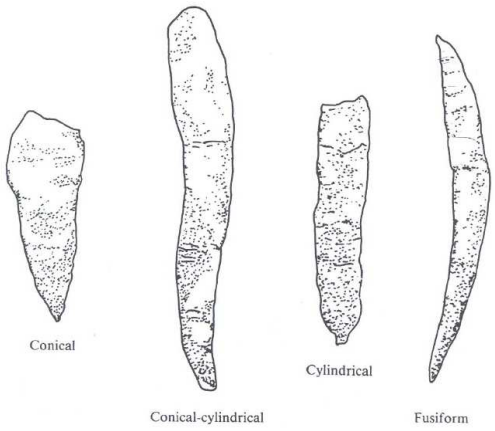
ดังนั้นมันสำปะหลังจึงมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างมาก โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ปลูกประมาณ 7.41 ล้านไร่ และประมาณว่าได้ผลผลิต 19,600 ล้านตัน ในแผนการพัฒนาทางการเกษตรช่วงปี 2545-2549 ได้กำหนดให้มันสำปะหลังเป็นพืชที่อยู่ในกลุ่มที่เร่งพัฒนาการผลิต เพื่อการส่งออก แต่อย่างไรก็ตามในเป้าหมายนั้นก็ระบุว่าควรลดพื้นที่การปลูกมันสำปะหลังให้เหลือประมาณ 6.70 ล้านไร่ แต่ยังคงระดับผลผลิตมันสำปะหลัง เพื่อการส่งออกให้เท่าเดิม การเพาะปลูกมันสำปะหลังได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากได้มีการพัฒนานำหัวมันสำปะหลังสดส่วนหนึ่งมาแปรรูปเป็นมันเส้น และมันเม็ดใช้เป็นอาหารสัตว์ เพื่อการบริโภคเป็นอาหารมนุษย์และในอุตสาหกรรมต่างๆ จุดเด่นของมันสำปะหลังในด้านการค้าของตลาดโลกก็คือ เป็นพืชไร่ที่มีกระบวนการผลิตที่สะอาด จนได้รับการยอมรับว่าเป็นสินค้าสีเขียว (green product) และเป็นพืชที่ไม่มีการตัดต่อสารทางพันธุกรรม (non-GMOs) ปัจจุบันประเทศไทยถือได้ว่าเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่รายหนึ่งของโลก และมีการส่งออกมันสำปะหลังมากที่สุดในโลก แต่ใช้บริโภคภายในประเทศน้อยมาก

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของมันสำปะหลัง จะประกอบไปด้วย

2.1.1.1 ราก (Root) มันสำปะหลังมีระบบรากเป็นแบบ adventitious root system รากที่งอกจากท่อนพันธุ์ (cutting) สามารถงอกได้จาก 3 ส่วน คือ รากจากส่วนเนื้อเยื่อ cambium รากจากส่วนตา และรากจากส่วนรอยหลุดร่วงของใบ (leaf scar) หัว (tuber) ของมันสำปะหลัง คือส่วนรากที่ขยายใหญ่ เพื่อสะสมอาหารแป้งในส่วน parenchyma cell จำนวนหัวจะมี 5-15 หัว ขนาดความยาวประมาณ 15-100 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-15 เซนติเมตร ขนาดของรากมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับอายุ พันธุ์ ดิน และสภาพภูมิอากาศต่างๆ (ดังภาพที่ 2.2)

ภาพที่ 2.2 แสดงรูปร่างลักษณะของหัวมันสำปะหลัง

(ดนัย, 2537) กล่าวไว้ว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ประมาณ 2 เดือนหลังจากการปลูก จะมีการสะสมสารอาหารในรูปของแป้งไว้ที่ราก การสะสมเหล่านี้ซึ่งเกิดจากการสะสมของแป้งใน parenchyma cell เรียกรากสะสมนี้ว่าหัวและรากที่สะสมแป้งเหล่านี้จะค่อยขยายขึ้นตามอายุ โดยทั่วไปในต้นมันสำปะหลังต้นหนึ่งๆ จะมีรากสะสมอาหาร หรือที่เรียกว่า หัว อยู่ประมาณ 5-20 หัวต่อต้น และจำนวนหัวจะคงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีกตลอดชั่วอายุการเก็บเกี่ยว หัวมันสำปะหลังจะเป็นที่สะสมแป้งเท่านั้น ไม่มีตา และไม่สามารถใช้ขยายพันธุ์ได้ จำนวนหัว รูปร่างของหัว ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้ง และปริมาณกรด HCN ในหัวจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ รูปร่างหรือรูปทรงของหัวมีตั้งแต่ conical, conocal-cylindrical, cylindrical, fusiform, irregular และรูปทรงที่รวมๆกัน (ดังภาพที่ 2.3)



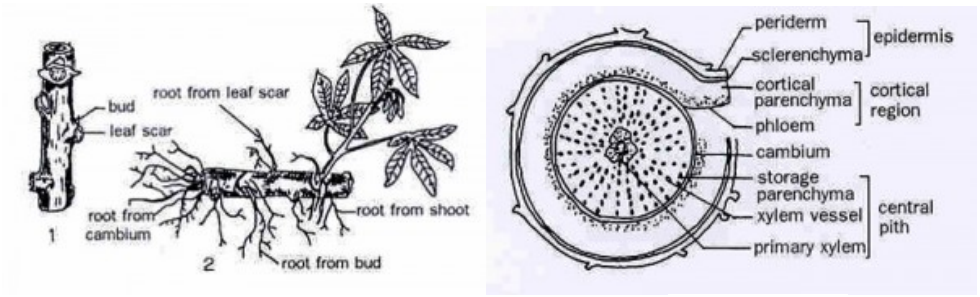
ภาพที่ 2.3 แสดงรูปร่างหรือรูปทรงของหัวมันสำปะหลัง

(ดนัย, 2537) ได้กล่าวไว้ว่า หัวมันสำปะหลังเมื่อผ่าหัวมันสำปะหลังตัดตามขวาง จะพบว่ามีส่วนประกอบรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เปลือกชั้นนอก (periderm) เป็นชั้นของเซลล์ผิวชั้นนอก (epidermal cell) และชั้นของคอร์ก (cork layer) รวมกันมีสีขาว หรือสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่ หรือสีชมพู แตกต่างกันไปตามพันธุ์

2. เปลือกชั้นใน (cortical region) เป็นส่วนของคอร์เทกซ์ (cortex) และกลุ่มโฟลเอ็ม (phloem bundle) มีสีขาว ความหนาประมาณ 0.1-0.3 เซนติเมตร เปลือกชั้นนอก และเปลือกชั้นในเรียกรวมกันว่า เปลือก (peel)

3. ส่วนของเนื้อหัว (starchy flesh) หรือส่วนแกนกลาง (large central pith) หรือส่วนสะสมแป้ง (central pith หรือ starchy flesh) เป็นส่วนที่สะสมแป้ง ประกอบด้วยเซลล์ชนิดต่างๆ คือ cambium, parenchyma และ vessel ภายในเนื้อหัวประกอบด้วยแป้งประมาณ 20-40 % เนื้อหัวจะมีสีต่างๆ เช่น ขาว ครีม เหลือง และชมพู เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของหัวมันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวาง

ดังนั้นหัวมันสำปะหลัง จะเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจากใบ และส่วนที่เป็นสีเขียวแล้ว จะสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรต คือ แป้งไว้ในราก ความสามารถในการสร้าง และสะสมแป้งในรากมีความแตกต่างกันบ้าง เนื่องมาจากพันธุ์ของมันสำปะหลัง อายุการเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝน ในช่วงแรกก่อนการเก็บเกี่ยว และปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลังอาจแตกต่างกันไป โดยทั่วไปหัวมันสำปะหลังที่มีอายุประมาณ 12 เดือน ที่ได้รับปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอ และไม่มีฝนตกชุก ขณะเก็บเกี่ยวจะมีองค์ประกอบต่างๆ ในหัวมันสำปะหลัง (ดังตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆของหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในหัวมันสำปะหลัง	**ปริมาณต่อ 100 กรัม**
น้ำ	60.21 - 75.32
เปลือก	4.08 - 14.08
เนื้อแป้ง	25.87 - 41.88
ไซยาไนด์	2.85 - 39.27

2.1.1.2 ลำต้น (Stem) มันสำปะหลังที่เจริญเติบโต จะเป็นแบบไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นเป็นแบบ woody stem ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-6 เซนติเมตร สีของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนที่อยู่ใกล้ยอดมีสีเขียว ส่วนแก่ที่ต่ำลงมาอาจมีสีน้ำเงิน สีเหลือง หรือสีน้ำตาล ความสูงของต้นประมาณ 2-4 เมตร ทั้งนี้มีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับการแตกกิ่ง พันธุ์ที่ไม่แตกกิ่ง (unbranched) ต้นจะสูง ส่วนพันธุ์ที่แตกกิ่งต้นจะสูงน้อยกว่า การแตกกิ่งของมันสำปะหลังจะแตกออกเป็น 2 กิ่ง (dichotomous branching) หรือ 3 กิ่ง (trichotomous branching) กิ่งที่แตกออกจากลำต้นเรียกว่า primary branch ส่วนกิ่งที่แตกออกจาก primary branch เรียกว่า secondary

branch บนลำต้นหรือกิ่งของมันสำปะหลังจะมีรอยหลุดร่วงของใบแก่ เรียกว่า leaf scar ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างก้านใบกับลำต้นหรือกิ่ง ระยะระหว่างรอยหลุดร่วงของใบ 2 รอยต่อกัน เรียกว่า storey length ด้านบนเหนือรอยหลุดร่วงของใบจะมีตา (bud) ซึ่งจะงอกเป็นต้นใหม่อีก เมื่อนำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไปปลูก (ดังภาพที่ 2.5)

ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะลำต้น (Stem) มันสำปะหลัง

2.1.1.3 ใบ (Leaf) เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) การเกิดของใบจะหมุนเวียนรอบลำต้น (spiral) มีค่า phyllotaxy ค่อนข้างคงที่แน่นอน คือ 2/5 ก้านใบ (petiole) ต่อระหว่างลำต้นหรือกิ่งกับตัวแผ่นใบ ก้านใบอาจมีสีเขียวหรือสีแดงตัวใบหรือแผ่นใบ (lamina) จะเว้าเป็นหยักลึกเป็นแบบ palmately lobe จำนวนหยักมีตั้งแต่ 3-9 หยัก ใบที่อยู่ใกล้ช่อดอก และยอดมักจะมีขนาดเล็กกว่า และมีจำนวนหยักน้อยกว่าใบด้านล่างๆ (ดังภาพที่ 2.6)

ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะใบ (Leaf) มันสำปะหลัง

2.1.1.4 ช่อดอก (Inflorescences) มันสำปะหลังมีช่อดอกเป็นแบบ panicle มีดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious plant) แต่แยกกันอยู่คนละดอกในช่อเดียวกัน ช่อดอกจะเกิดตรงปลายยอดของลำต้นหรือกิ่ง หรืออาจเกิดตรงรอยต่อที่เกิดการแตกกิ่ง

ดอกตัวผู้ (staminate flower) มักเกิดบริเวณส่วนปลายหรือยอดของช่อดอก ไม่มีกลีบดอก (petal) มีกลีบรองดอก (sepal) 5 กลีบ มีเกสรตัวผู้ (stamen) 10 อัน แบ่งเป็น 2 วงๆละ 5 อัน เกสรตัวผู้วงในมีก้านชูเกสรตัวผู้ (filament) สั้นกว่าวงนอก (ดังภาพที่ 2.7)

ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะดอกตัวผู้ (staminate flower) มันสำปะหลัง

ดอกตัวเมีย (pistillate flower) มีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ มักเกิดอยู่บริเวณส่วนโคนของช่อดอก ไม่มีกลีบดอกแต่มีกลีบรองดอก 5 กลีบเช่นเดียวกับดอกตัวผู้ ตรงกลางจะเป็นเกสรตัวเมีย (pistil) รังไข่ (ovary) มี 3 carpel ภายในแต่ละ carpel มีไข่ (ovule) อยู่ 1 ใบ ในช่อดอกเดียวกันดอกตัวเมียจะบานก่อนดอกตัวผู้ 7-10 วัน การบานของดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียจะบานในเวลา 11.30-12.30 น. (ดังภาพที่ 2.8)

ภาพที่ 2.8 แสดงลักษณะดอกตัวเมีย (pistillate flower) มันสำปะหลัง

2.1.1.5 ผล (Fruits) หลังการผสมเกสรแล้ว รังไข่ก็จะเจริญเติบโตขยายใหญ่กลายเป็นผลแบบ capsule ขนาดโตเต็มที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ยาว 1-1.5 เซนติเมตร ภายในมี 3 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ด 1 เมล็ด หลังการผสมเกสรประมาณ 3 เดือน ผลจะสุกแก่เต็มที่ แล้วแตกดีดเมล็ดกระเด็นออกไป (dehiscent)

2.1.1.6 เมล็ด (Seed) จะมีสีน้ำตาล และมีลายดำ รูปร่างยาวรี ขนาดกว้าง 3/4 เซนติเมตร หนา 1/2 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร ตอนปลายของเมล็ดที่ติดกับผนังรังไข่ จะมีส่วน caruncle หรือมีตาอย่างน้อย 3 ตา (ดังภาพที่ 2.9)

ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะเมล็ด (Seed) มันสำปะหลัง

วิธีการขยายพันธุ์มันสำปะหลัง ทำได้โดยใช้ท่อนพันธุ์ปักลงในดิน คือ ใช้ส่วนของลำต้นที่มีอายุตั้งแต่ 6 เดือนขึ้นไป นำมาตัดเป็นท่อนให้มีขนาดความยาว 20-30 เซนติเมตร (มีตาประมาณ 7–10 ตา) แล้วปักลงในดิน ไม่นิยมปลูกด้วยเมล็ด เนื่องจากมันสำปะหลังไม่ค่อยติดเมล็ด และเก็บเมล็ดลำบาก เพราะฝักแก่จะแตกทำให้เมล็ดร่วง เมล็ดมีระยะพักตัวกว่า 2 เดือน ต้องเพาะต้นกล้าก่อนย้ายปลูกนาน 1 เดือน และมักเกิด inbreedingได้ง่าย และใช้เวลาปลูกนานกว่า การปลูกด้วยเมล็ดจึงทำเฉพาะในโครงการผสมพันธุ์ และปรับปรุงพันธุ์เท่านั้น

2.1.2 ชนิดของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ปลูกในแหล่งปลูกทั่วโลก และในประเทศไทย สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.2.1 ชนิดหวาน (Sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ ไม่มีรสขม ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ เช่น นำไปนึ่ง เชื่อม หรือทอด มันสำปะหลังชนิดนี้ มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่ม และชนิดเนื้อเหนียวแน่น ไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ในประเทศไทยมี 3 พันธุ์ ได้แก่ มันสวน มันห้านาที หรือก้านแดง และระยอง 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรได้มีปรับปรุงขึ้น

2.1.2.2 ชนิดขม (Bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์สูง เป็นพิษต่อร่างกาย และมีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์ หรือใช้หัวมันสำปะหลังสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง ต้องนำไปแปรรูปเป็นมันอัดเม็ด หรือมันเส้น แล้วจึงนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ แต่เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปต่างๆ เช่น แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ นอกจากนี้การแปรรูปเป็นอาหารโดยใช้ความร้อน เช่น ตากแดด เผา และต้ม ก็จะทำให้ไซยาไนด์แตกตัวหมดไป สามารถทำให้รสขมลดลง หรือหมดไปได้ พันธุ์มันสำปะหลังชนิดขม ได้แก่ ระยอง 1, ระยอง 2, ระยอง 3, ระยอง 5, ระยอง 60, ระยอง 72, ระยอง 90, ระยอง 9, เกษตรศาสตร์ 50, ศรีราชา 1, ห้วยบง 60 และระยอง 7 มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดขม

2.1.3 พันธุ์มันสำปะหลัง

เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย กรมวิชาการเกษตรและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงได้มีการวิจัยพัฒนามันสำปะหลังสายพันธุ์ใหม่ๆขึ้นมา เพื่อเพิ่มผลผลิตที่ป้อนสู่ตลาด ทั้งการเพิ่มปริมาณผลผลิตหัวสด และการเพิ่มปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) แป้งในหัวมันสำปะหลัง โดยการพัฒนาพันธุ์ ด้วยการใช้วิธีธรรมชาติ และไม่มีการใช้เทคนิคการตัดต่อพันธุกรรม ปัจจุบันประเทศไทยมีพันธุ์ที่พัฒนา และได้รับการรับรอง / แนะนำพันธุ์แล้วจำนวน 13 พันธุ์ด้วยกัน คือ ระยอง 1, ระยอง 2, ระยอง 3, ระยอง 5, ระยอง 60,ระยอง 90, เกษตรศาสตร์ 50, ศรีราชา 1, ห้านาที, ระยอง 72, ห้วยบง 60, ระยอง 9 และระยอง 7 ซึ่งมีข้อมูลโดยสังเขปดังนี้ พันธุ์มันสำปะหลังที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นการค้า มีอยู่ด้วยกัน 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50, พันธุ์ระยอง 5, พันธุ์ระยอง 90 และพันธุ์ระยอง 60 โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์มันสำปะหลังที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุด

2.1.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง ได้แก่

2.1.4.1 มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 200 เมตร

2.1.4.2 ไม่มีน้ำท่วมขัง

2.1.4.3 ดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินทราย

2.1.4.4 มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์

2.1.4.5 มีการระบายน้ำดี และถ่ายเทอากาศที่ดี

2.1.4.6 มีระดับหน้าดินลึก ไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร

2.1.4.7 มีค่าความเป็นกรดด่าง ระหว่าง 5.5 – 7.5

2.1.4.8 มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ระหว่าง 25 - 37 องศาเซลเซียส

2.1.4.9 มีปริมาณน้ำฝนกระจายสม่ำเสมอ 1,000 -1,500 มิลลิเมตรต่อปี

2.1.5 ฤดูการปลูกและแหล่งปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย

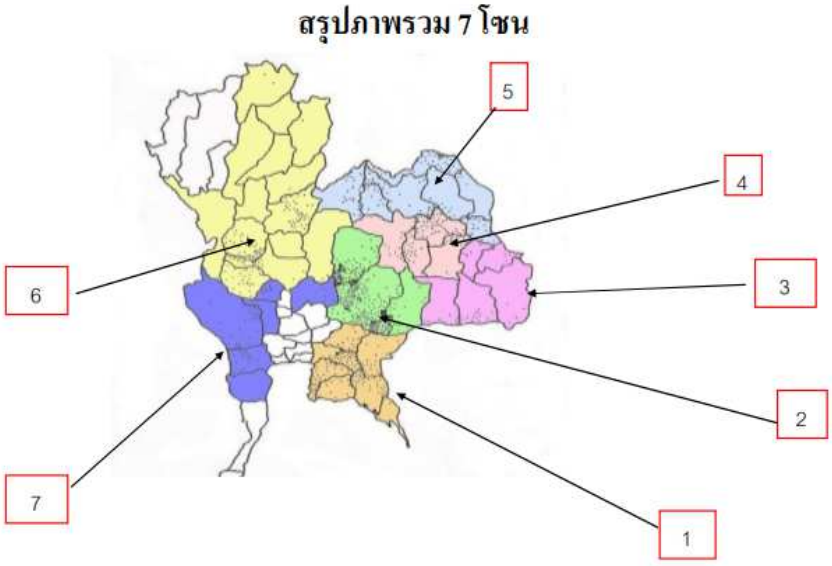
2.1.5.1 ฤดูการปลูกมันสำปะหลัง เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ตลอดปี โดยมากกว่าร้อยละ 65 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด เกษตรกรส่วนมากจะทำการปลูกในช่วงต้นฤดูฝน คือ ประมาณเดือนมีนาคม ถึง พฤษภาคม อีกร้อยละ 20 ปลูกในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์ ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 13 จะปลูกในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงตุลาคม สำหรับการปลูกในช่วงต้นฤดูฝนนี้ผลผลิตหัวสดที่ได้จะสูงกว่าการปลูกในช่วงอื่นๆ แต่ในดินที่มีลักษณะเนื้อดินค่อนข้างหยาบ การปลูกในช่วงฤดูแล้งจะให้ผลผลิตสูงที่สุด ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกช่วงการปลูกมันสำปะหลังที่เหมาะสมจึง

ต้องพิจารณาทั้งปริมาณน้ำฝน และลักษณะของดิน สำหรับพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในภาคต่างๆ ของประเทศไทย กับช่วงเวลาการปลูกที่เหมาะสม (ดังตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แสดงช่วงที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลังของแต่ละภาค

ภาค	ช่วงที่เหมาะสม
ภาคเหนือตอนบน	ปลายมิถุนายน
ภาคเหนือตอนล่าง	ต้น – กลางกรกฎาคม
ภาคกลาง	ต้น – กลางกรกฎาคม
ภาคตะวันตก	กลาง – ปลายกรกฎาคม
ภาคตะวันออก	ต้น – กลางกรกฎาคม
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	กลาง - ปลายมิถุนายน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	ต้น - กลางกรกฎาคม

2.1.5.2 แหล่งที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย โดยแหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดในปัจจุบันนั้น คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณร้อยละ 54 ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ รองลงมา คือ ภาคกลาง (รวมภาคตะวันออกและภาคะวันตก) ประมาณร้อยละ 32 และภาคเหนือประมาณร้อยละ 14 ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ ดังนั้นแหล่งปลูกมันสำปะหลังจะแบ่งออกเป็น 7 โซน (ดังภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 แสดงแหล่งปลูกและผลผลิตของหัวมันสำปะหลังสด

ดังนั้นผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด จะประกอบไปด้วย 7 โซน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) โซน 1 ได้แก่ จังหวัดปราจีนบุรี, ฉะเชิงเทรา, สระแก้ว, จันทบุรี, ระยอง, และชลบุรี

2) โซน 2 ได้แก่ จังหวัดบุรีรัมย์, ชัยภูมิ และนครราชสีมา

3) โซน 3 ได้แก่ จังหวัดยโสธร, อำนาจเจริญ, อุบลราชธานี, ศรีษะเกษ และสุรินทร์

4) โซน 4 ได้แก่ จังหวัดมหาสารคาม, กาฬสินธุ์ และขอนแก่น

5) โซน 5 ได้แก่ จังหวัดเลย, หนองบัวลำภู, อุดรธานี, หนองคาย, บึงกาฬ, สกลนคร, มุกดาหาร และนครพนม

6) โซน 6 ได้แก่ จังหวัดเชียงราย, อุตรดิตถ์, พิษณุโลก, นครสวรรค์, อุทัยธานี, กำแพงเพชร, เพชรบูรณ์ และอื่นๆ (ตาก สุโขทัย แพร่ ลำปาง พะเยา พิจิตร น่าน ลำพูน เชียงใหม่)

7) โซน 7 ได้แก่ จังหวัดสระบุรี, ลพบุรี, ชัยนาท, สุพรรณบุรี, กาญจนบุรี, ราชบุรี, เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์

จากการรายงานผลของคณะสำรวจภาวะผลผลิต และการค้ามันสำปะหลังของประเทศไทย (สถิติการเกษตรของประเทศไทย, 2561) จากการสำรวจระหว่างวันที่ 9-15 กันยายน 2561 จะมีผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (ดังตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 แสดงผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดของประเทศไทย ปีพ.ศ. 2561/2562

ผลผลิตหัวมันสด									
	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิต/ไร่ (ตัน)		
โซน	ปี 60/61	ปี 61/62	% +/-	ปี 60/61	ปี 61/62	% +/-	ปี 60/61	ปี 61/62	% +/-
1	915,821	903,513	- 1.34	3,243,298	3,257,750	0.45	21.944	22.349	1.85
2	2,084,377	2,232,085	7.09	7,572,083	8,373,400	10.58	3.633	3.751	3.26
3	825,236	870,963	5.54	2,930,995	3,130,126	6.79	3.552	3.594	1.19
4	573,245	603,261	5.24	1,951,787	2,114,855	8.35	3.405	3.506	2.96
5	826,156	852,703	3.21	2,864,291	3,021,597	5.49	3.467	3.544	2.21
6	1,834,172	1,902,781	3.74	6,143,192	6,569,551	6.94	3.349	3.453	3.08
7	966,126	1,039,647	3.74	3,169,818	3,507,357	10.65	3.281	3.374	2.82
รวม	**8,025,133**	**8,404,953**	**4.73**	**27,875,464**	**29,974,636**	**7.53**	**3.474**	**3.566**	**2.65**

ที่มา : (สถิติการเกษตรของประเทศไทย, 2561)

2.1.6 การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในรูปของการบริโภคสด และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปแล้ว ทุกส่วนของต้นมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น

ในส่วนของหัวมันสำปะหลังสด สามารถนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์โดยตรง หรือนำมาผลิตเป็นแป้งเพื่อการแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ และส่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ในส่วนของใบสามารถนำมาใช้เป็นอาหารมนุษย์ และเป็นอาหารสัตว์ทั้งในรูปของใบสด และตากแห้งป่นผสม ส่วนของลำต้นนิยมนำมาใช้เป็นท่อนพันธุ์ สำหรับการเพาะปลูก และสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ส่วนของเมล็ดสามารถนำไปสกัดน้ำมัน เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยาได้ การใช้มันสำปะหลังในอุตสาหกรรมการแปรรูปต่างๆ (ปรารถนา และคณะ, 2552 : 19-20) จำแนกได้ดังต่อไปนี้

2.1.6.1 อุตสาหกรรมการแปรรูปมันสำปะหลัง สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1) การผลิตมันเส้น กรรมวิธีการผลิตมันเส้น ทำได้โดยการแปรรูปหัวมันสด โดยการใช้เครื่องสับหัวมันเป็นเส้นเล็ก แล้วนำไปตากบนลานซีเมนต์ประมาณ 2-3 วัน แต่ถ้าเป็นฤดูฝน จะใช้เวลาในการตากมันมากกว่าปกติ ซึ่งตามปกติแล้วการผลิตมันเส้น 1 กิโลกรัมจะต้องใช้หัวมันสด (มีปริมาณแป้งร้อยละ 25) 2-2.5 กิโลกรัม เมื่อแห้งดีแล้วจะต้องได้มาตรฐาน ความชื้นที่มีในมันเส้นประมาณร้อยละ 14 แล้วจึงทำการเก็บ เพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมมันอัดเม็ดต่อไป

2) การผลิตมันอัดเม็ด กรรมวิธีการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด คือ จะต้องนำมาร่อนเพื่อให้เศษที่เป็นผง และสิ่งเจือปนต่างๆออกเสียก่อน เสร็จแล้วแยกมันเส้นที่มีขนาดใหญ่มาตรฐานเข้าเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ ต่อจากนั้นมันเส้นที่ได้ขนาด และเกินขนาดจะถูกบด แล้วจะถูกลำเลียงไปยังถังใส่บนเครื่องอัด มันอัดเม็ดจะถูกพ่นน้ำ เพื่อให้มีความชื้นในระดับที่เหมาะสม เมื่อถูกอัดออกจากเครื่องใหม่ๆ มันอัดเม็ดจะยังอุ่น และอ่อนนุ่ม เราจึงต้องส่งเข้าเครื่องระบายความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น หลังจากนั้นมันอัดเม็ดจะมีความแข็ง

3) การผลิตแป้งมันสำปะหลัง กระบวนกรรวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสกัดแห้งนั้น เป็นกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบใหม่ ที่ในโรงงานโดยทั่วไปใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก) การเตรียมวัตถุดิบ หัวมันสำปะหลังจะถูกล้างให้สะอาด

ข) การโม่หัวมันสำปะหลัง มันสำปะหลังจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องสับหัวมัน ให้หัวมันสำปะหลังมีขนาดเล็กลง ในระหว่างการโม่มีการเติมน้ำ เพื่อให้สามารถโม่หัวมันได้ง่าย ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวข้น ที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่างๆ

ค) การสกัดแป้งของเหลวข้น จากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องแยกน้ำทิ้ง ที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง แล้วน้ำแป้งที่ได้จะเข้าสู่หน่วยสกัดแป้ง โดยจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง ซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก โดยเครื่องนี้จะแบ่งหน้าที่ตามการกรองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสกัดหยาบ และชุดสกัดละเอียดตามลำดับ จากนั้นน้ำแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูง จะถูกสูบจาก

ถังพักมายังเครื่องสกัดแห้ง ซึ่งจะเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้ง ทำให้ได้แป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 35-40

ง) การอบแห้ง แป้งหมาดจะถูกเป่าด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส จากเตาเผาขึ้นไปบนปล่องอบแห้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนความร้อนทำให้ความชื้นหายไปบางส่วน

จ) การบรรจุและเก็บรักษา ทำได้โดยการบรรจุแป้งมันสำปะลังที่ได้ในกระสอบแล้วเรียงกระสอบบนที่รองรับเป็นชั้นๆ โดยพยายามหลีกเลี่ยงการทับซ้อนกันถึง 4-5 เมตร

4) อุตสาหกรรมด้านการผลิตเอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) ผลิตโดยการย่อยสลายแป้งในหัวมันสำปะหลังสด หรือมันเส้นให้เป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วนำไปหมักโดยยีสต์ เพื่อเปลี่ยนกลูโคสเป็นแอลกอฮอล์จากนั้นนำไปกรองและกลั่น เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ไร้น้ำ หรือแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 99.5% ปัจจุบันมีความต้องการนำเอทานอลที่ผลิตขึ้นนี้ไปใช้ผสมน้ำมันเบนซิน (Gasohol) หรือน้ำมันดีเซล (Diesohol) เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยรวม

2.1.6.2 อุตสาหกรรมที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในการแปรรูป

1) อุตสาหกรรมแป้งดัดแปร (Modified Starch) เป็นการนำแป้งดิบมาปรับปรุง คุณสมบัติให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งที่เป็นอุตสาหกรรมอาหาร และไม่ใช่อาหาร การปรับปรุงคุณสมบัตินี้ ทำได้โดยนำแป้งดิบไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของแป้ง เช่น Degradation หรือ Conversion ซึ่งทำให้ความเหนียวของแป้งลดลง Pregelatinization ซึ่งทำให้แป้งมีคุณสมบัติเป็นกาวทันที เมื่อถูกน้ำเย็น Derivatives ซึ่งเป็นการใช้สารเคมีในการเปลี่ยนโมเลกุลของแป้ง เป็นต้น

2) อุตสาหกรรมสาคู (Sago) ผลิตโดยนำแป้งมาขึ้นรูป โดยใช้เครื่องเขย่าให้จับกันเป็นก้อนเป็นเม็ดๆ จากนั้นร่อนเพื่อคัดขนาด แล้วนำไปอบแห้ง

3) อุตสาหกรรมผงชูรส หรือโมโนโซเดียมกลูตาเมต (Monosodium Glutamate) โดยแป้งมันสำปะหลัง จะถูกนำมาย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคส ด้วยเอนไซม์แล้วนำไปหมักร่วมกับแบคทีเรียบางชนิดและอาหารอื่นๆจนได้ที่ จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับโซดาไฟ ให้ตกผลึกเป็นผงชูรส

4) อุตสาหกรรมไลซีน (L-lysine) ในกระบวนการผลิตแอล-ไลซีน อันเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการใช้สร้างโปรตีนของสัตว์ ซึ่งสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เองนั้น แป้งมันสำปะหลังจะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสด้วยเอนไซม์บางชนิด เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตแอล-ไลซีนได้ แอล-ไลซีนที่ผลิตขึ้น จะนำไปใช้ผสมกับอาหารสัตว์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร

5) อุตสาหกรรมสารให้ความหวาน ได้แก่ กลูโคสเหลว (Glucose Syrup) กลูโคสผง (Dextrose Monohydrate) กลูโคสผงแห้ง (Dextrose Anhydrous) ซอร์บิตอล (Sorbitol)

และไฮฟรักโตส (Hifructose) แป้งมันสำปะหลังจะถูกย่อยสลายให้เล็กลงเป็นหน่วยของน้ำตาลต่างๆ เพื่อจะนำไปใช้อุตสาหกรรมอื่น เช่น อุตสาหกรรมขนมหวาน ลูกกวาด ยาสีฟัน และยา

6) พลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastic) โดยนำแป้งมันสำปะหลังมาผลิตเป็นภาชนะใส่อาหารต่างๆ เพื่อช่วยลดมลภาวะเป็นพิษแก่สิ่งแวดล้อม

7) สารดูดน้ำ หรือโพลิเมอร์ดูดซึมน้ำมาก (High Water Absorbing Polymer) ซึ่งผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง เป็นโพลิเมอร์ที่สามารถดูดซึมของเหลวได้ตั้งแต่ 15 เท่า จนถึงหลายร้อยเท่าของน้ำหนักตนเอง นิยมใช้ในด้านอนามัยทางการแพทย์

8) ไซโคลเดกซ์ตริน (Cyclodextrin) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการรักษาสภาพรสกลิ่น ลดการระเหยเพิ่มความเสถียร และเพิ่มการละลายของสารบางชนิด และใช้กำจัดสารที่ไม่ต้องการออกจากระบบ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้หลากหลาย

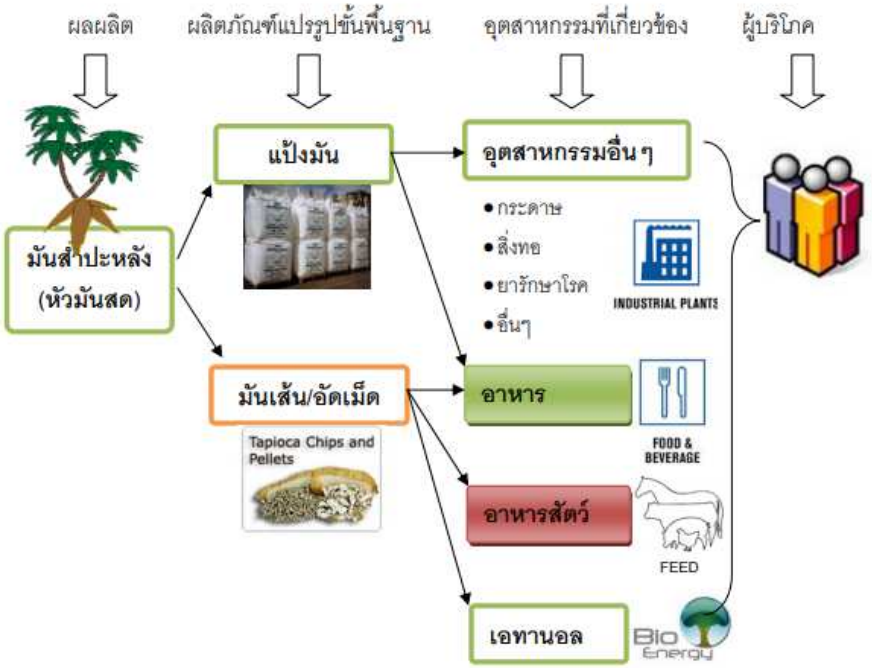
2.1.6.3 อุตสาหกรรมที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบประกอบ ได้แก่

1) อุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการนำแป้งไปเคลือบเส้นใยผ้าให้ลื่นและเรียบ ช่วยให้เส้นด้ายไม่ติดกัน ทำให้พิมพ์ลายได้สม่ำเสมอ และเป็นตัวช่วยหล่อลื่นไม่ให้เส้นด้ายติดกัน ระหว่างการเคลื่อนที่ของหูกทอผ้า โดยจะใช้แป้งในปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักด้าย

2) อุตสาหกรรมกระดาษ ใช้เป็นตัวประสาน และเคลือบกระดาษ ช่วยทำให้กระดาษเรียบ โดยจะใช้แป้งในปริมาณประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษ นอกจากนั้นกาวจากแป้งยังสามารถช่วยทำให้กระดาษเหนียวยิ่งขึ้น

3) อุตสาหกรรมไม้อัดและกาวแป้ง มันสำปะหลังจะถูกนำมาผสมกับสารเคมีต่างๆ เพื่อทำกาว ซึ่งในการผลิตไม้อัด จะต้องมีการใช้กาวในการประกบไม้ให้ติดกัน ไม้อัด 1 แผ่น จะมีแป้งประมาณ 0.4 กิโลกรัม ซึ่งแป้งมันก็ถูกนำมาเป็นส่วนผสมในการทำกาว เพราะแป้งมันจะมีคุณสมบัติเป็นกาวอยู่แล้ว เพื่อให้ไม้อัดติดกันเป็นแผ่นหนา แข็งแรงและทนทาน นอกจากนี้การใช้แป้งเป็นส่วนผสมยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตกาว เพราะกาวที่ผลิตได้นั้น จะมีการใช้แป้งเป็นส่วนผสมถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแป้งมันสำปะหลังยังมีคุณสมบัติพิเศษกว่าแป้งประเภทอื่นๆ คือ เนื้อของแป้งจะมีความละเอียด ทำให้ไม่มีการตกตะกอน เมื่อนำมาใช้ผสมทำกาว นอกจากนี้ราคายังถูกกว่าด้วย

4) อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม คุณสมบัติสำคัญของแป้ง คือ เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรด แต่ยังมีคุณสมบัติอื่น ที่ทำให้แป้งมันสำปะหลังเข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารนั้น คือ เป็นตัวทำให้เกิดความข้น (Thickmer) ในอาหาร ช่วยให้อาหารเกิดความคงตัว (Stabilizer) ช่วยให้อาหารเกาะตัวกันดีขึ้น (Binder) และช่วยในการเสริมแต่ง (Filler) นอกจากนั้นแป้งยังเป็นสิ่งที่หาได้ง่าย และมีราคาค่อนข้างถูก (Glucose) เด็กซ์โตรส (Dextrose) อาหารเด็ก ผลิตภัณฑ์ขนมปัง ขนมหวานสำเร็จรูป ไส้ขนมพาย อาหารกระป๋อง บะหมี่ เครื่องดื่ม ไอศกรีม แยม ผลไม้กระป๋อง นมเปรี้ยว ไส้กรอกกุนเชียง ซอส และโซดาทำขนม เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.11)



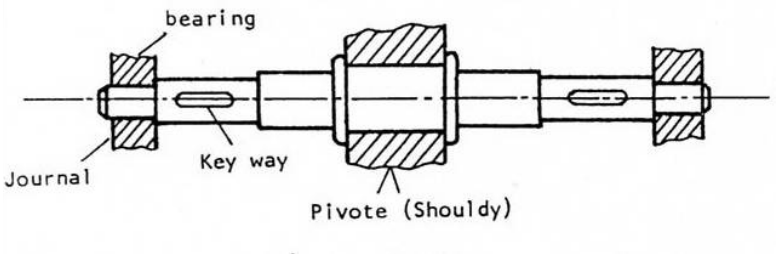
ภาพที่ 2.11 แสดงการแปรรูปและการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง

2.2 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกล

เครื่องจักรกลเป็นส่วนประกอบของชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต่อยึดอยู่ด้วยกัน เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน และส่งแรงจากแหล่งต้นกำลัง เพื่อเอาชนะความต้านทานต่างๆของเครื่องจักรกล และใช้ทำงานได้ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลโดยทั่วไป จะเป็นชิ้นส่วนเกร็ง (rigid) ข้อต่อที่ใช้จะต้องเลือก และจัดให้ทำงานสัมพันธ์กัน (วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2548)

2.2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเพลา

จะมีความสำคัญในส่วนของระบบส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลาอยู่ในรูปของโมเมนต์แรงบิด (Torque) ในการส่งกำลังผ่านระหว่างเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น เฟือง โซ่ สายพาน ฯลฯ (ดังภาพที่ 2.12)



ภาพที่ 2.12 รูปร่างลักษณะของเพลา

ดังนั้นในการออกแบบเพลา ที่ใช้สำหรับเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง แบบกึ่งอัตโนมัติจะต้องพิจารณารายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1.1 วัสดุเพลา วัสดุที่ใช้ทำเพลาโดยทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียว และความหนาทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษ ส่วนมากจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นๆ เพื่อใช้ทำเพลา เช่น 17Cr316MnCr5 20MnCr5 ตาม DIN EN 10084 เป็นต้น

2.2.1.2 ขนาดของเพลา เพื่อที่ให้ได้เพลาที่มีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ จึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลา ซึ่งเป็นขนาดระบุ (Normal Size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้ให้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถซื้อได้ทั่วไป

2.2.1.3 การพิจารณาการออกแบบเพลา คือ การคำนวณหาขนาดเพลาที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลา เพื่อให้เพลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอ ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแกร่งทางด้านระยะโก่งของเพลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นสำคัญ ในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพาน เฟือง โครงเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบริ่ง สำหรับรองรับเพลาให้เหมาะสม

2.2.1.4 การออกแบบเพลาสำหรับภาระคงที่ (Static Load) คำนวณหากำลังงานและภาระของเพลา สามารถคำนวณได้จากสูตร

ก. สูตรหากำลัง $$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{60 \times 1000} \quad (2.1)$$

เมื่อ P = กำลัง (kw.)

n = ความเร็วรอบ (rpm.)

T = โมเมนต์บิด (Nm.)

ข. สูตรสำหรับออกแบบเพลางาน

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot \alpha_b}{\pi \cdot \alpha_d}} \text{ (สำหรับเพลารับความเค้นดัด)} \quad (2.2)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T \cdot \alpha_t}{\pi \cdot \tau_d}} \text{ (สำหรับเพลารับความเค้นเฉือน)} \quad (2.3)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \tau_d} \cdot \left[(M \cdot \alpha_b)^2 + (T \cdot \alpha_t)^2 \right]^{1/2}} \text{ (สำหรับเพลาความเค้นดัดและเฉือน)} \quad (2.4)$$

α_b = แฟคเตอร์แก้ไขโมเมนต์ดัด และ α_t = แฟคเตอร์แก้ไขโมเมนต์บิด

ดังนั้นในการเลือกขนาดของเพลา สำหรับงานปกติทั่วไป จะพิจารณาเฉพาะกำลังงานภาระและด้านคำนวณตรวจความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา เพื่อความปลอดภัยเพียงพอสำหรับงานพิเศษ ในบางกรณี จึงจะพิจารณาถึงความแกร่ง ขนาดมาตรฐานของเพลา ซึ่งเป็นขนาดระบุใน ISO/R775 - 1969 เอาสำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดแบริ่ง ที่ใช้รองรับเพลา (ดังตารางที่ 2.4)

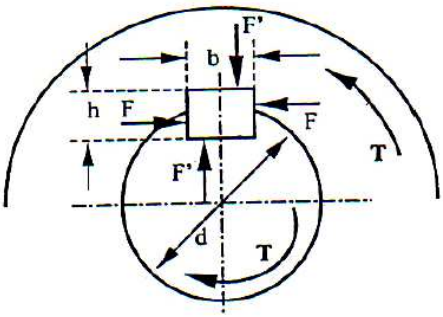
ตารางที่ 2.4 ขนาดเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775 – 1969

เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา (มิลลิเมตร)				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

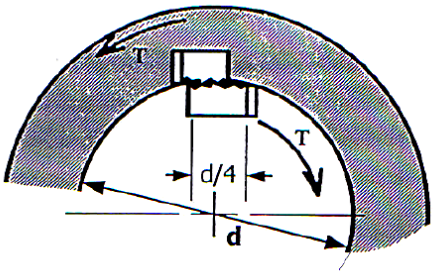
ที่มา : (วริทธิ์ และชาญ, 2548)

2.2.2 ลิ่ม (Key)

ในการออกแบบลิ่ม โดยทั่วไปนั้นจะทำการวิเคราะห์หาความเค้นอัด (σ_c) และความเค้นเฉือน (τ) ที่เกิดขึ้นที่ลิ่มนั้น เนื่องจากภาระทอร์กที่กระทำเป็นสิ่งสำคัญที่ควรยึดถือปฏิบัติ คือ ควรจะต้องให้ลิ่มสวมอัดแน่นพอดีกับร่องลิ่มทั้งที่ผิวด้านบน (ดุมล้อ) และที่ผิวด้านล่าง (เพลา) มิฉะนั้นการคำนวณออกแบบหาขนาดของลิ่มเพื่อออกแบบสร้างเครื่องจักรกลขึ้นนั้น จะมีข้อผิดพลาดมาก เนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นที่ลิ่มมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน (ดังภาพที่ 2.13) แสดงแรงที่กระทำกับลิ่ม เมื่อเพลามีการหมุนด้วยความเร็วรอบ



ภาพที่ 2.13 แสดงแรงที่กระทำกับลิ่ม



ภาพที่ 2.14 แสดงลิ่มเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน

พิจารณาว่าลิ่มเสียหาย เนื่องจากแรงเฉือนนั้น (ดังภาพที่ 2.14) จะคำนวณหาได้จากสูตรดังนี้

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{bl\tau d}{2}, \tau = \frac{2T}{bld} \quad (2.5)$$

เมื่อ

T = โมเมนต์บิดบนเพลา

F = แรงที่กระทำกับลิ่ม

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา

b = ความกว้างของลิ่ม

l = ความยาวของลิ่ม

τ = ความเค้นเฉือนบนลิ่ม

พิจารณาว่าลิ่มเสียหายเนื่องจากแรงอัด จะได้

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{hl\sigma_c d}{2}, \sigma_C = \frac{4T}{hld} \quad (2.6)$$

เมื่อกำหนดให้

h = ความสูงของลิ่ม

σ_c = ความเค้นอัดบนลิ่ม

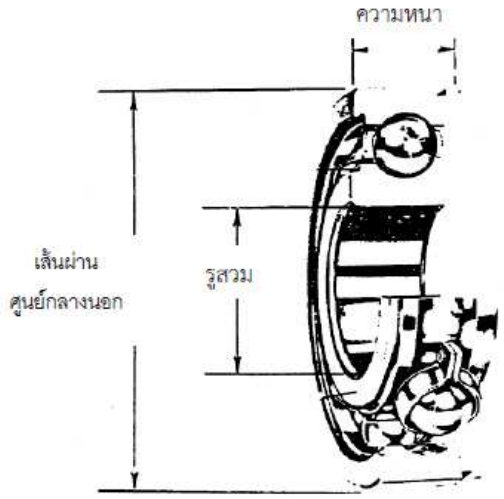
2.2.3 ตลับลูกปืน

ตลับลูกปืน คือ ชิ้นส่วนเครื่องกลที่ใช้รองรับเพลา เพื่อให้เพลารองรับโหลดหมุนได้เป็นอย่างราบรื่นปลอดภัย และอายุการใช้งานที่ทนทาน นอกจากนี้ยังต้องแข็งแกร่งและมีความเที่ยงตรง เพื่อให้เครื่องกลทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเที่ยงตรง ตลับลูกปืนเหมาะสำหรับรับโหลดที่ไม่มากนัก ถ้าใช้งานที่มีความเร็วรอบต่ำ อายุการใช้งานของตลับลูกปืนจะสูงขึ้น ในช่วงเริ่มหมุนจะมีความฝืดน้อย จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นชิ้นส่วนไม่มีความฝืด แต่แท้ที่จริงแล้วไม่มีความฝืดจากการต้านทานของลูกกลิ้งระหว่างลูกปืน นอกจากนี้ยังมีการเฉือนของสารหล่อลื่น ลักษณะการติดตั้งตลับลูกปืนกำหนดตำแหน่งคงที่ที่ปลายด้านหนึ่งของเพลารองรับแรงในแนวรัศมี และขณะเดียวกันจะกำหนดตำแหน่งของเพลาในแนวแกนทั้งสองทิศ เพราะฉะนั้นตลับลูกปืนนี้ จะต้องยึดแน่นทั้งบนเพลา และตัวล็อคตลับลูกปืนที่เหมาะสม คือ ตลับลูกปืนรับแรงในแนวรัศมี ซึ่งสามารถรับแรงได้ (ดังภาพที่ 2.15)

ภาพที่ 2.15 แสดงลักษณะของตลับลูกปืน

2.2.4 แบริ่ง (Bearing)

โรลลิ่งแบริ่ง (Rolling bearing) หมายถึง แบริ่งชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (rolling contract) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (sliding contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้จะมีค่าเสียดทานที่น้อยมาก (ดังภาพที่ 2.16) ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงแหวนเหล็กกล้า 2 วง ที่แยกออกจากกัน ด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนหนึ่ง แล้วส่งแรงนี้ไปยังอีกวงวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



ภาพที่ 2.16 แสดงลักษณะของบอลแบริ่ง

สำหรับแรงกระทำเทียบเท่าแบบ radial ของแบริ่งลูกกลิ้งกลม สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.7) และ (2.8)

$$Fe = VF \tag{2.7}$$

$$Fe = XVFr + YF\,a \tag{2.8}$$

(ดังภาพที่ 2.17) เมื่อกำหนดให้

*F*e = แรงกระทำเทียบเท่ากับแรง radial

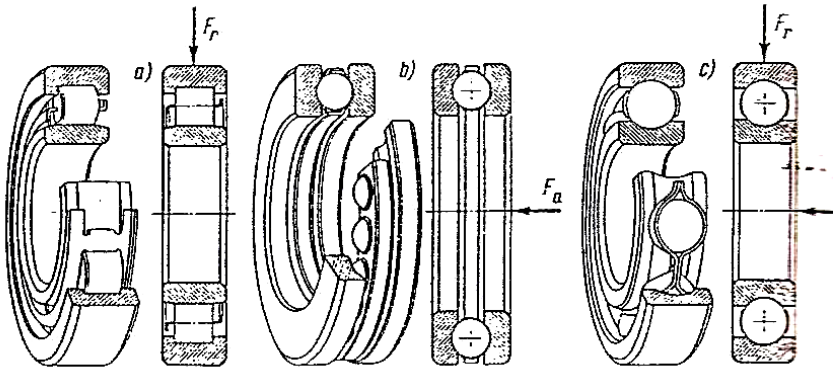
*F*r = แรงกระทำทาง radial

*F*a = แรงกระทำทาง thrust

V = ปัจจัยการใช้งาน

X = ปัจจัย radial (จากตารางที่ ข.16)

Y = ปัจจัย radial (จากตารางที่ ข.16)



ภาพที่ 2.17 แบริ่งชนิดต่าง ๆ

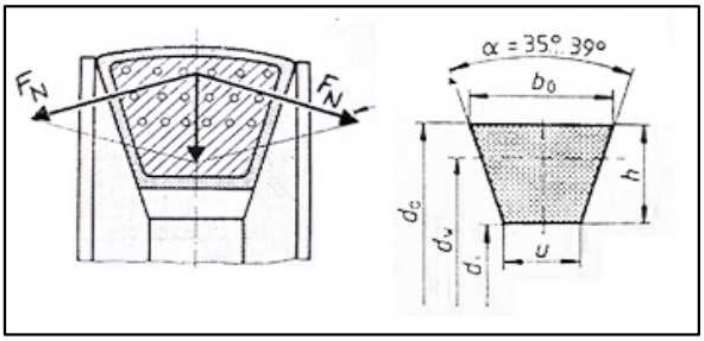
เนื่องจากมีการใช้แบริ่งกันอย่างแพร่หลายทั่วไป ทางสมาคมผู้ผลิตโรลริ่งแบริ่งจึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาด และหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการเลือกแบริ่งเหล่านี้ขึ้น โดยได้วางมาตรฐานการรับแรง และอายุการใช้งานเอาไว้ ทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ได้สะดวก ตัวแปรสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการออกแบบ คือ ความเสียดทานในแบริ่ง ซึ่งที่จริงในการทำงานความเสียดทานจะมีความสำคัญน้อยมาก แต่ทางทฤษฎีสามารถหากำลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทานได้

2.2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพานส่งกำลัง

สายพานเป็นอุปกรณ์ที่คล้องโยงเครื่องจักรต่างๆ เพื่อพาให้หมุนไปด้วยกัน เป็นส่วนรองรับวัสดุสิ่งของต่างๆ ทำให้วัสดุขนถ่ายที่อยู่บนสายพานนั้นเคลื่อนที่ตามสายพานไปด้วย รับการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ สายพานถูกออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพของการทำงาน ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ สายพานวี สามารถส่งกำลังได้ดีกว่าสายพานแบบอื่นๆ และมีราคาถูก ส่วนสายพานชนิดอื่นก็ขึ้นอยู่กับการใช้งาน การเลือกซื้อสายพานควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ เพื่อเลือกขนาดพร้อมกับรหัสของบริษัทผู้ผลิตที่แยกประเภทของสายพานออกไป ตามประเภทของการใช้งาน

คุณสมบัติของสายพานส่งกำลัง โดยอาศัยความฝืดจากผิวสัมผัสระหว่างสายพานกับล้อสายพาน วัสดุที่ใช้ทำสายพาน ต้องมีค่าต้านทานสูง ความสามารถบิดตัวได้ดี และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิดสัมผัสสูง วัสดุที่ใช้ทำสายพานที่ใช้กันมาก คือ หนัง แต่ถ้าเป็นการใช้พิเศษ เช่น อยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้น มีสารเคมีหรือน้ำมันอยู่ด้วย มักใช้สายพานแบบ Chrome Leather เพื่อให้สายพานมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น จึงมักใช้ค่าความเค้นในการออกแบบต่ำกว่าความต้านทานจากแรงดึงสูงของสายพานมาก โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนัง จะมีค่าประมาณ 0.40-0.50 และความเร็วใช้งานของสายพานควรจะอยู่ช่วง 1,000-2,000 เมตรต่อนาที ปัจจุบันในการเลือกใช้สายพานจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของงานนั้น ซึ่งสามารถจำแนกได้หลายลักษณะดังนี้

2.2.5.1 การส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานลิ่ม ส่วนใหญ่จะผลิตแบบไม่มีปลายเป็นสายพาน ทำจากยางที่มีภาคตัดขวาง เป็นภาพสี่เหลี่ยมคางหมูครึ่งหนึ่ง ด้านบนของสายพานจะมีเส้นโพลีเอสเตอร์ที่ผ่านการวัลเคไนเซชั่นแล้วแทรกอยู่ ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น สายพานลิ่มชนิดนี้ที่มีชั้นใยสิ่งทอหุ้มอยู่รอบๆ จะช่วยป้องกันการสึกหรอได้ดี สายพานลิ่มจะไม่รับแรงตามแนวรัศมีโดยตรงเหมือนกับสายพานแบน แต่จะรับแรงตามแนวตั้งฉากกับด้านข้างของสายพานลิ่ม (ดังภาพที่ 2.18) แรงปกติ FN สายพานลิ่มที่มีความตึง และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับสายพานแบน จะสามารถส่งกำลังได้ดีกว่าสายพานแบนได้ถึง 3 เท่า ซึ่งข้อดีและข้อเสียของสายพานลิ่ม เมื่อเทียบสายพานแบนแล้ว จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ



ภาพที่ 2.18 แสดงโครงสร้างแรงปฏิกิริยาและขนาดของสายพานลิ่ม

ข้อดี คือ การส่งกำลังได้ดีในขณะที่รองเพลารับภาระน้อยกว่า มีการลื่นไถลขณะส่งกำลังน้อยมาก (ที่ประสิทธิภาพ = 0.90) มีมุมโอบน้อย แต่ให้อัตราทดได้มากถึง 15 : 1 โดยที่ไม่ต้องมีลูกกลิ้งกดสายพาน เปลืองเนื้อที่น้อย มีระยะห่างระหว่างแกนเพลาน้อยกว่า ส่งถ่ายกำลังงานได้สูง ที่ขนาดล้อสายพานและเพลาเล็กกว่า สามารถให้หมุนย้อนทิศทางได้ สามารถจัดเรียงสายพานลิ่มได้หลายเส้นทำให้ส่งถ่ายกำลังงานได้มาก แต่มีข้อเสีย คือ ต้นทุนผลิตสูงกว่าสายพานแบน มีระยะห่างระหว่างแกนเพลาจำกัด และไม่สามารถจัดสายพานส่งกำลัง ให้เป็นลักษณะไขว้สลับได้

สรุปแล้วสายพานลิ่มจะใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกัน ระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวกับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดึงขั้นต่ำ และเหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุด เมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉิน ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ ทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดี คือ เงียบ, สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดีและแบริ่งของเพลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับเคลื่อนระบบส่งกำลังทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป แต่มีข้อเสีย คือ ต้นทุนการผลิตสูงกว่าสายพานแบน, มีระยะห่างระหว่างแกนเพลาจำกัด และไม่สามารถจัดสายพานส่งกำลังให้เป็นลักษณะไขว้สลับได้ตามมาตรฐาน ซึ่งมีสายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10 : 1 อัตราส่วนแรงดึงของสายพาน สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$\frac{T1}{T2} = 2.5 \qquad (2.9)$$

$$T1 = 2.5T2 \qquad (2.10)$$

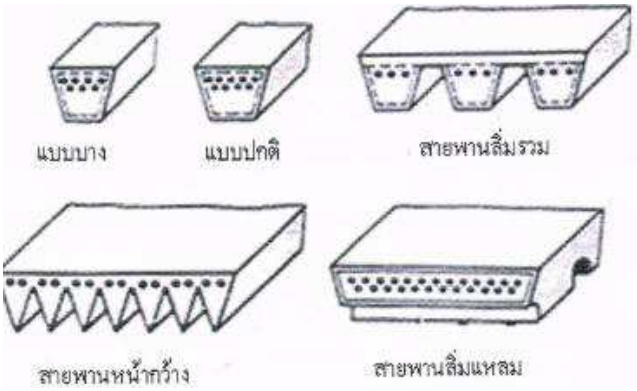
แรงที่สายพานกดเพลา $F = T1 + T2$ (2.11)

ดังนั้นชนิดของสายพานลิ่ม (ดังภาพที่ 2.19) แบ่งลักษณะการนำไปใช้งาน ได้ดังนี้

1) สายพานลิ่มแบบบางและปกติปกติ เป็นสายพานที่กำลังจะถูกทดแทนด้วยการนำเอาสายพานลิ่มเส้นบางมีประสิทธิภาพกำลังงานดีกว่ามาใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งล้อสายพานที่มีขนาดเล็กจะมีการนำสายพานลิ่มบางเปิดด้านข้างมาใช้งาน สายพานชนิดที่มีการวัลเคไนเซชั่น และมีพลาสติกใยแก้วสั้นๆ เสริมด้านล่าง จะทำให้ด้านข้างของสายพานทนแรงดัด และการสึกหรอได้สูง สายพานที่มีร่องฟันใต้สายพานจะเหมาะสำหรับใช้งานกับล้อสายพานขนาดเล็ก สายพานลิ่มเส้นบางเปิดด้านข้าง จะนิยมนำมาใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ในยานยนต์

2) สายพานลิ่มรวม จะนำมาใช้งานในการส่งกำลังที่มาก เพราะสายพานลิ่มอยู่ขนานติดกันหลายเส้น ด้านบนสายพานนี้จะมีแผ่นปิดยางสังเคราะห์ จึงเหมาะสมกับงานที่มีการถ่ายเทโมเมนต์หมุนแบบไม่สม่ำเสมอ และที่มีระยะห่างระหว่างแกนเพลามีค่ามาก

3) สายพานลิ่มแหลม จะมีการกระจายแรงตามแนวรัศมีไปยังแผ่นปิดด้านบนสายพานอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างสายพาน ใช้สำหรับในการใช้งานกับแกนเพลาที่มีระยะมาก และรับภาระสูง

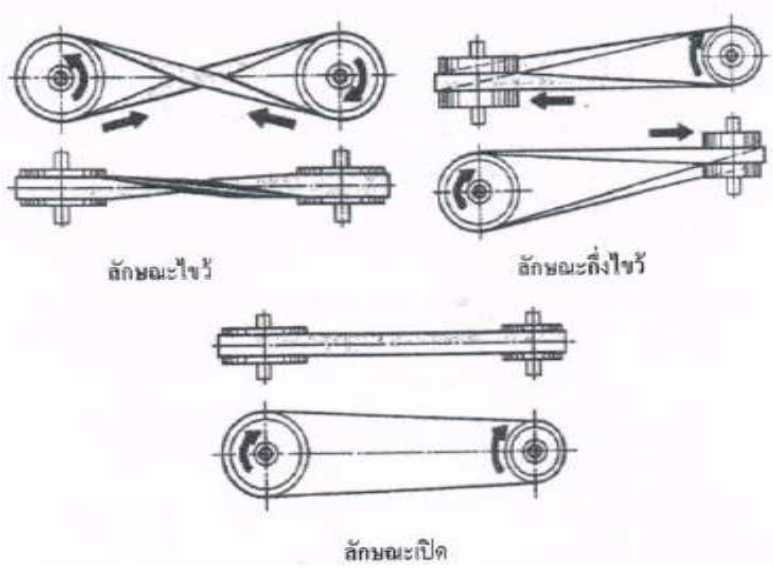


ภาพที่ 2.19 แสดงลักษณะของสายพานลิ่มแบบต่างๆ

4) สายพานลิ่มหน้ากว้าง จะมีผิวชั้นบนที่เป็นพลาสติกหุ้มอยู่โดยรอบที่เป็นชั้นผิวรับแรงดึง ส่วนเนื้อสายพานร่องลิ่ม เป็นลิ่มสายพานที่มีเรียวติดต่อกัน ที่สวมสัมผัสผิวร่องล้อสายพานได้แนบสนิทพอดี ซึ่งให้แรงตามแนวรัศมีถูกถ่ายเทไปยังด้านบนของสายพาน จึงเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีอัตราสูงมาก และส่งกำลังงานได้ถึง 600 กิโลวัตต์ (G.PRECISIONENGINEERING LTD.PART, 2009)

2.2.5.2 การส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานแบน สายพานแบนจะผลิตจากหนัง, สิ่งทอ หรือทำจากชั้นต่างๆของหนัง พลาสติก และเส้นใยหลายๆชั้น สายพานแบนสามารถนำมาใช้งานในลักษณะไขว้หรือกึ่งไขว้ได้ แต่การสึกหรอของสายพานแบนดังกล่าว จะเกิดขึ้นมากกว่าการใช้งานในลักษณะไขว้

หรือกึ่งไขว้ได้ (ดังภาพที่ 2.20) แต่การสึกหรอของสายพานดังกล่าว จะเกิดขึ้นมากกว่าการใช้ของสายพานลักษณะเปิดสายพานลักษณะไขว้ เป็นลักษณะการวางสายพานที่ทำให้มีมุมโอบมากกว่าลักษณะเปิด อัตราทดจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ล้อสายพานจะหมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามกันต่อเนื่องจากสายพานไขว้สัมผัสกันจึงทำให้เกิดการสึกหรอค่อนข้างเร็ว สายพานลักษณะกึ่งไขว้ จะทำให้มีมุมโอบล้อสายพานมากกว่าแบบลักษณะเปิดล้อสายพาน ซึ่งจะวางในทิศทางตั้งฉากกัน แต่มีทิศทางการหมุนเหมือนกัน เพื่อให้การหมุนของสายพานบนล้อสายพานกำหนดให้ความกว้างของล้อสายพานขับโตกว่าประมาณ 1/4 เท่าของล้อสายพานแบบลักษณะเปิด และทำให้ล้อสายพานโตกว่าประมาณ 1/3 เท่าของล้อสายพานแบบลักษณะเปิด (G.PRECISIONENGINEERING LTD.PART, 2009)



ภาพที่ 2.20 แสดงลักษณะล้อสายพานไขว้ กึ่งไขว้ และลักษณะเปิด

2.2.5.3 การส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานแบบหลายชั้น สายพานแบบหลายชั้น จะมีชั้นความฝืดที่เป็นพลาสติกยืดหยุ่น หรือหนังส่วนชั้นที่รับการดึงจะทำจากแถบโพลิเอไมล์ชั้นเดียว หรือหลายชั้น มีความสามารถในการฉุดดึงได้ดี เพราะมีความเสียดทานสูงสามารถดัดงอได้มาก เพราะสายพานจะมีความหนาน้อย สามารถส่งถ่ายกำลังงานได้ถึง 6,000 กิโลวัตต์ สามารถใช้งานที่มีความเร็วได้ถึง 100 เมตรต่อวินาที

ความยาวของสายพาน ในการพิจารณาเลือกใช้สายพาน สิ่งที่สำคัญ คือ การคำนวณหาความยาวสายพานที่จะใช้ โดยสามารถคำนวณหาความยาวสายพาน ได้จากสูตร (สมการที่ 2.12)

$$L = 2C + 1.57(d_1 + d_2) + \frac{d_1+d_2}{4C} \qquad (2.12)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานกับความเร็วรอบกำหนดได้ดังนี้

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \tag{2.13}$$

เมื่อ

i = อัตราส่วนของความเร็วล้อสายพาน

n_1 = ความเร็วรอบล้อสายพานตัวขับ (รอบต่อนาที)

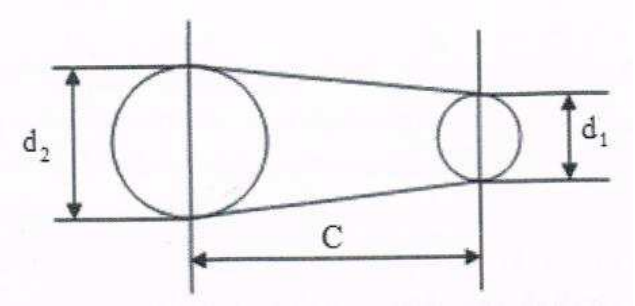
n_2 = ความเร็วรอบล้อสายพานตัวตาม (รอบต่อนาที)

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานตัวขับ (รอบต่อนาที)

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานตัวตาม (มิลลิเมตร)

L = ความยาวสายพาน (มิลลิเมตร)

C = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางล้อสายพาน (มิลลิเมตร)

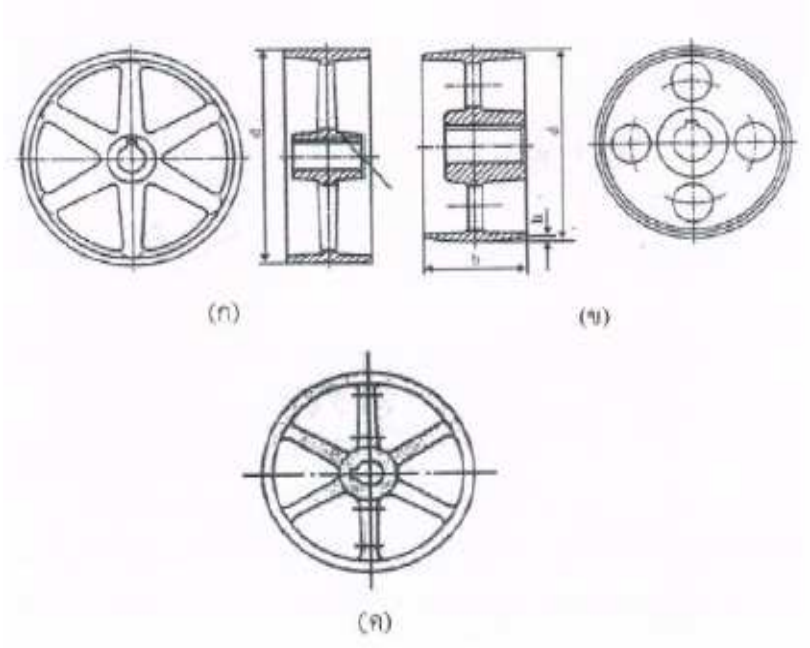


ภาพที่ 2.21 สายพานกับล้อสายพาน

2.2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับล้อสายพาน วัสดุที่ใช้ทำล้อสายพานส่วนใหญ่ ทำจากเหล็กหล้าหรือเหล็กหล่อชนิดต่างๆ ล้อสายพานร่องลิ่มตามมาตรฐาน โดยปกติจะมีร่องลิ่ม การทำร่องลิ่ม เพื่อให้สายพานมีมุมลิ่มกับมุมของร่องได้แนบแน่นกันยิ่งขึ้น การใช้งานล้อสายพานร่องลิ่มที่ทำจากเหล็กกล้าจะใช้สายพานที่รับภาระไม่มากนักโดยใช้สายพานรหัส 2L 3L 4L และ 5L ล้อสายพานร่องลิ่มที่ทำจากเหล็กหล่อ สามารถใช้กับสายพานทุกชนิดได้ ขนาดของล้อสายพานมีผลต่อการส่งกำลังด้วยสายพานจะมีความสามารถในการส่งถ่ายกำลังได้เต็มที่ก็ต่อเมื่อใช้อัตราทดที่ถูกต้อง คือ ตั้งแต่ 1 ถึง 3 หรือน้อยกว่านี้ เพราะถ้าหากใช้อัตราทดที่สูงกว่านี้ จะทำให้มุมโอบของสายพานน้อยลง เป็นเหตุให้เกิดการลื่นไหล และสูญเสียการส่งกำลังได้ โดยชนิดของล้อสายพาน สามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

2.2.6.1 ล้อสายพานแบน การผลิตล้อสายพานแบนจากวัสดุเหล็กหล่อ, เหล็กกล้า โลหะเบา, พลาสติก หรือไม้ บนผิวล้อที่จะรองรับสายพานจะต้องมีความลื่น มิฉะนั้นจะทำให้สายพาน

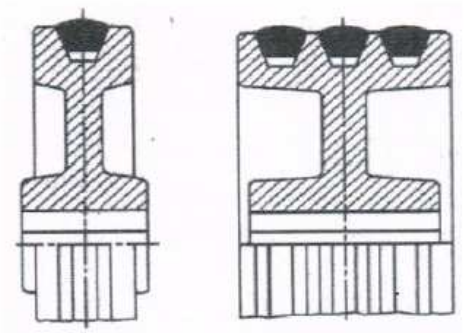
มีการสึกหรอเร็วมาก จากการลื่นเสียดสี โดยให้ผิวความหยาบอยู่ระหว่าง 4 ถึง 10 ไมโครเมตร ดังนั้น ล้อพานตามแบบ Z (ดังภาพที่ 2.22ก.) และแบบ G (ผิวภาพโค้ง) (ดังภาพที่ 2.22ข.) ล้อสายพานแบบ G ที่มีผิวโค้งนี้ จะช่วยประคองสายพานให้อยู่ตรงกลางเสมอ ในขณะส่งกำลังป้องกันมิให้หลุดออกไปด้านข้าง ซึ่งหมายความว่า แรงดึง หรือแรงตึงของสายพานที่มากที่สุดจะอยู่ตรงกึ่งกลางความกว้างของล้อสายพาน จึงสามารถส่งกำลังด้วยความเร็วขอบถึง 20 เมตรต่อวินาที เหมาะสำหรับนำมาใช้งานเป็นล้อตาม และยังแบ่งตามลักษณะภาพร่างแบบโครงเป็นแผ่นกลมทึบ หรือเจาะรู หรือแบบโครงสร้างเป็นซี่ถอดออกเป็น 2 ชิ้นได้ (ดังภาพที่ 2.22ค.) ที่ช่วยให้การถอดประกอบระหว่างรองเพลาได้ง่ายยิ่งขึ้น (G.PRECISIONENGINEERING LTD.PART, 2009)



ภาพที่ 2.22 รูปร่างลักษณะล้อสายพานแบน

สรุปแล้วล้อสายพานส่วนใหญ่ จะทำจากวัสดุเหล็กหล่อสีเทา (GG – 15, GG – 20) สำหรับล้อสายพานที่ใช้งานรับภาระมากๆ จะทำจากเหล็กกล้าหล่อ (GS – 33, GS – 45) หรือจากเหล็กกล้าโลหะเบาที่ได้จากการรีดขึ้นรูป หรือเชื่อมประสาน ล้อสายพานทุกชนิดจะต้องมีการถ่วงดุลน้ำหนักลักษณะสถิต ส่วนในกรณีที่ไวต่อการสั่นสะเทือน หรือการใช้งานที่ความเร็วสูง จะต้องถ่วงดุลน้ำหนักลักษณะพลวัต (Dynamic) โดยที่ความเร็วรอบมากกว่า 25 เมตรต่อวินาที

2.2.6.2 ล้อสายพานลิ่ม ตาม DIN 2217 ล้อสายพานลิ่มจะมีแบบร่องเดียว หรือหลายร่องมุมร่องล้อสายพาน a = 30, 34 และ 38 องศา โดยล้อสายพานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าจะมีมุมร่องล้อสายพานที่โตกว่า ร่องล้อสายพานจะมีการผลิตให้สายพานที่สวมประกอบแล้ว ไม่เลยพ้นจากขอบร่องล้อ และจะต้องไม่จมอยู่ในร่องล้อ มิฉะนั้นสายพานจะสูญเสียปฏิกิริยาแรงขับ (ดังภาพที่ 2.23)

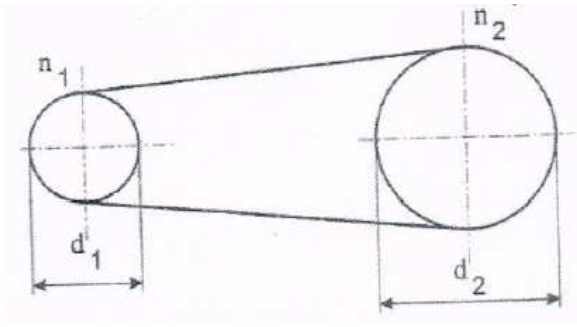


ภาพที่ 2.23 ล้อสายพานลิ่ม

2.2.7 อัตราทดจากการส่งกำลังด้วยสายพาน การส่งกำลังด้วยสายพานที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป มีสายพานแบน สายพานลิ่ม และสายพานฟันเฟือง ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาอัตราทดดังต่อไปนี้

2.2.7.1 อัตราทดของสายพานแบน เป็นสายพานที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม สามารถส่งกำลังเป็นแบบทดสอบชั้นเดียว และส่งกำลังเป็นแบบทดสองชั้น มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

ก) การส่งกำลังด้วยอัตราทดชั้นเดียว (ดังภาพที่ 2.24)



ภาพที่ 2.24 การส่งกำลังด้วยสายพานอัตราทดชั้นเดียว

สมการที่ 1 (2.14)

สมการที่ 2 $$i = \frac{d_2}{d_1}$$ (2.15)

สมการที่ 3 $$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$ (2.16)

หรือ $$n_1 d_2 = n_2 d_2$$ (2.17)

หมายเหตุ : สมการที่ 3 ได้จากการนำสมการที่ 1 = สมการที่ 2

เมื่อกำหนดให้

I = อัตราทด

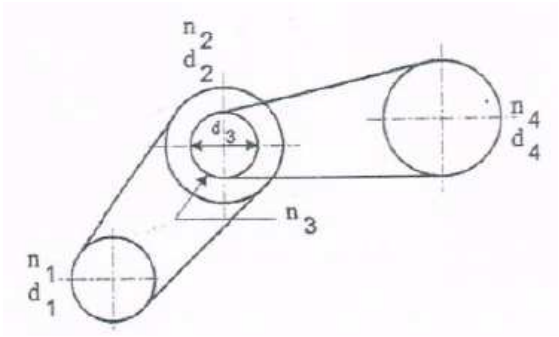
n_1 = ความเร็วรอบของล้อขับ (รอบต่อนาที)

n_2 = ความเร็วรอบของล้อตาม (รอบต่อนาที)

d_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเล่ย์ตัวขับ (มิลลิเมตร)

d_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเล่ย์ตัวตาม (มิลลิเมตร)

ข) การส่งกำลังด้วยอัตราทดหลายชั้น หมายถึง การส่งกำลังชุดล้อขับ และล้อตามสองชุด คือ มีล้อสายพานทั้งหมด 4 ตัว คือ d_1, d_2, d_3 และ d_4 ส่วนความเร็วของรอบก็จะมี 4 ตัว เหมือนกัน คือ n_1, n_2, n_3 และ n_4 แต่ n_2 จะเท่ากับ n_3 เพราะอยู่เพลาเดียวกัน สาเหตุที่ต้องใช้อัตราส่วนหลายชั้น เพราะว่าการส่งกำลังมีอัตราทดสูง ถ้าส่งด้วยอัตราทดชั้นเดียวล้อตามของสายพานจะมีขนาดใหญ่มาก (ดังภาพที่ 2.25)



ภาพที่ 2.25 การส่งกำลังด้วยอัตราทดหลายชั้น

จากสมการในการหาอัตราทดจะได้

อัตราทดคู่ที่ 1 $i = \frac{n_1}{n_2}$ หรือ $= \frac{d_1}{d_2}$ (2.18)

อัตราทดคู่ที่ 2 $i_2 = \frac{n_3}{n_4}$ หรือ $= \frac{d_4}{d_3}$ (2.19)

อัตราทดรวมสมการที่ 1 $I = i_1 \times i_2$ (2.20)

อัตราทดรวมสมการที่ 2 $I = \frac{n_1}{n_2}$ (2.21)

อัตราทดรวมสมการที่ 3 $I = \frac{d_2}{d_1} \times \frac{d_4}{d_3}$ (2.22)

2.2.7.2 อัตราการทดของสายพานลิ่ม หรือสายพานตัว V ที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูนั้น จะมีวิธีการคำนวณดังนี้ (ดังสมการที่2.23)

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{dm_2}{dm_1} \qquad (2.23)$$

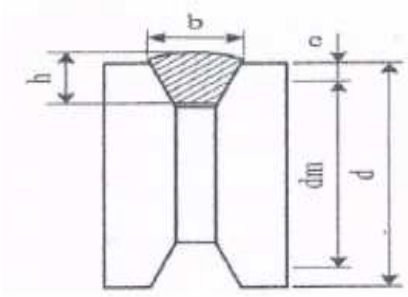
เมื่อกำหนดให้

dm_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของล้อขับ (มิลลิเมตร)

= d_1 - 2C

dm_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของล้อตาม (มิลลิเมตร)

= d_2 - 2C



ภาพที่ 2.26 สายพานลิ่ม

ตารางที่ 2.5 ค่าระยะของสายพานลิ่ม

ความกว้างสายพาน (b) มม.	5	8	8	10	13	17	20	25	32	40	50
ระยะ (C)	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16

2.2.8 สายพานลำเลียง (Conveyor)

สายพานลำเลียง คือ ระบบลำเลียงสิ่งของจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการหมุนสายพานลำเลียง เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.8.1 Belt conveyor เป็นสายพานลำเลียงแบบที่ลักษณะด้านบนเป็นยาง PVC. หรือ PU. ใช้ขนส่งสิ่งของในลักษณะแนวราบ หรือลาดชันที่มีน้ำหนักไม่มาก และอุณหภูมิไม่สูง และแบบที่ลักษณะด้านบนเป็นตะแกรงลวด เรียกว่า Wire Mesh ใช้กับสิ่งของที่มีอุณหภูมิสูง

2.2.8.2 Free roller conveyor เป็นสายพานลำเลียงที่ใช้ลูกกลิ้งเหล็ก เป็นตัวพาสิ่งของ โดยใช้โซ่ และมอเตอร์ในการขับเคลื่อนสายพานลำเลียง

ดังนั้นกำลังขับระบบสายพานลำเลียง จะมีวิธีคำนวณขนาดกำลังขับระบบสายพานนั้นกระทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่ถูกต้องแน่นอนที่สุด คือ การคำนวณหาความต้านทานของแต่ละตัว ต่อการขนถ่ายในระบบทั้งหมด แล้วนำมารวมกันแต่วิธีดังกล่าว จะต้องคำนวณหาค่าต่างๆ มากมายและยุ่งยากมาก วิธีที่สะดวกกว่า คือ คำนวณด้วยสมการที่กำหนดไว้ในมาตรฐานเยอรมัน DIN22101 ซึ่งจะต้องคำนวณหาค่าแรงขับที่ล้อขับสายพาน FU ในค่าของ FU นี้จะรวมค่าความต้านทานแล่นของสายพานเส้นบนกับเส้นล่างไว้ด้วย หากเป็นสายพานลาดเอียง จะต้องพิจารณาระบบขับลาดเอียงของทั้งสายพาน และวัสดุขนถ่ายเพิ่มขึ้นอีกเป็นพิเศษด้วย (ดังสมการที่ 2.23)

$$F_U = f_{ges}.L.\left(G_m + \frac{I_G}{3600\ .V} \pm \frac{I_G.H}{3600\ .V}\right) \qquad (2.23)$$

เมื่อกำหนดให้

F_U คือ แรงขับที่ขอบล้อสายพาน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

f_{ges} คือ สัมประสิทธิ์แรงจับรวม

G_m คือ น้ำหนักของสายพานต่อเมตร และน้ำหนักของลูกกลิ้งหมุน (ทั้งบนและล่าง) มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร

I_G คือ น้ำหนักปริมาณวัสดุขนถ่าย มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อชั่วโมง

V คือ ความเร็วแล่นขนถ่าย มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

L คือ ความยาวระบบขนถ่าย วัดเป็นความยาวฉายในแนวตรง มีหน่วยเป็นเมตร

H คือ ช่วงสูงที่ต้องขนถ่ายสูงขึ้น (+สูงชันขึ้น), (-ลดต่ำลง)

ดังนั้น $$f_{ges} = f.C \qquad (2.24)$$

เมื่อกำหนดให้

f คือ แฟคเตอร์แรงเสียดทาน คิดเป็นค่าความต้านทานไหลรวมจากค่าความต้านทานของวัสดุขนถ่าย และแรงเสียดทาน ณ ลูกกลิ้งรับภาระ

C คือ สัมประสิทธิ์ระบบสายพาน สุดแต่ความยาวของระบบสายพานนั้นๆ สัมประสิทธิ์นี้ครอบคลุมถึงค่าความต้านทานไหลอื่นๆ ได้แก่ ความต้านทานขณะสายพานพับม้วนกลับที่ล้อสายพาน ปกติเรามักคำนวณเพียงค่า PV หรือค่ากำลังที่จะพอดีที่ขับให้สายพานแล่นได้ขณะมีน้ำหนัก

วิธีการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของสายพานลำเลียง

1) แรงดึงในสายพาน

โดยทั่วๆ ไปเราจะสนใจเฉพาะค่าแรงดึงสูงสุด F_1 และค่าแรงดึงน้อยที่สุดที่ปรากฏ F_2 ในสายพานนั้น วิธีการที่จะได้ทราบค่าแรงกดแน่นให้สายพานตึงนั้น เราก็จะต้องทราบค่าแรง F_3 และ F_4 ด้วยสมการไอย์เทลไวน์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\alpha} \quad (2.25)$$

$$F_1 = F_U + F_2 \quad (2.26)$$

รวมสมการที่ 2.25 และ สมการที่ 2.26 เข้าด้วยกันดังนั้น

$$F_2 = F_U \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1} \quad (2.27)$$

เมื่อกำหนดให้

E คือ ค่าคงที่เท่ากับ 2.718281828

F_1 คือ ค่าแรงดึงสูงสุดในเนื้อที่สายพาน มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

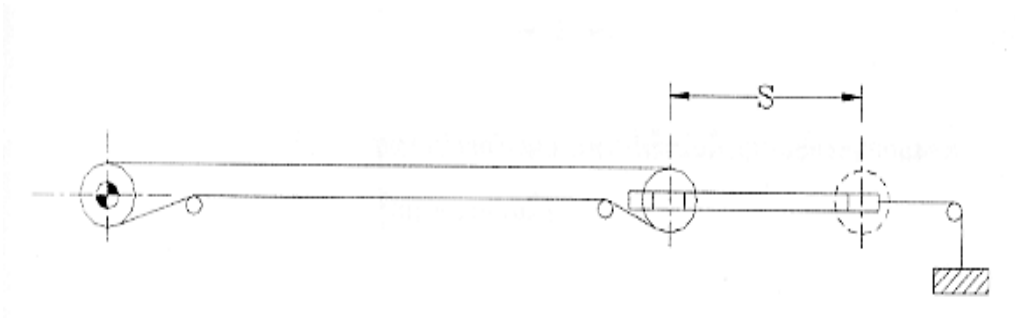
F_2 คือ ค่าแรงดึงสายพานค่าน้อยที่สุดของล้อกลับสายพาน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

F_U คือ แรงขับที่ขอบล้อสายพาน มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

$e^{\mu\alpha}$ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานล้อสายพาน

α คือ มุมพับม้วนล้อสายพาน มีหน่วยเป็นองศา

ซึ่งหมายความว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และมุมพับม้วนสายพานที่กำหนดให้ จะต้องใช้แรงกดแน่นสายพานจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนกับแรงขับที่ขอบล้อสายพาน FU หากค่ายิ่งโตค่า FU จะยิ่งโตตาม หรือหากค่าแรงขับที่ขอบล้อสายพานยิ่งเล็กลง แรงกวดแน่นสายพานให้ตึงก็จะลดขนาดตามด้วย (ดังภาพที่ 2.27) ดังนั้นหากจะให้แรงกดแน่นสายพานลดน้อยลง ก็ควรจะต้องเพิ่มมุมพับม้วนสายพานให้มากขึ้น และเพิ่มสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน μ ให้มากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.27 แสดงการกวดสายพานให้แน่นตึง

สมการที่ 2.28 มีขอบเขตจำกัดในขณะใช้งาน คือ

$$\frac{F_1}{F_2} \quad \leq \quad e^{\mu\alpha} \tag{2.28}$$

โดยสายพานจะยังไม่ลื่นไถลตกออกมาจากล้อสายพาน วิธีคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดในสายพาน จึงต้องทราบค่าแรงขับที่ขอบล้อสายพาน (ดังภาพที่ 2.28) จะใช้สมการที่ 2.29 นี้ช่วยในการคำนวณหาค่าของ F_1

$$F_1 \quad = \quad F_U \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1} \tag{2.29}$$

วิธีคำนวณค่าแรงดึงที่หัวสายพาน F_3 และ F_4 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.30 และสมการที่ 2.31 ดังนี้

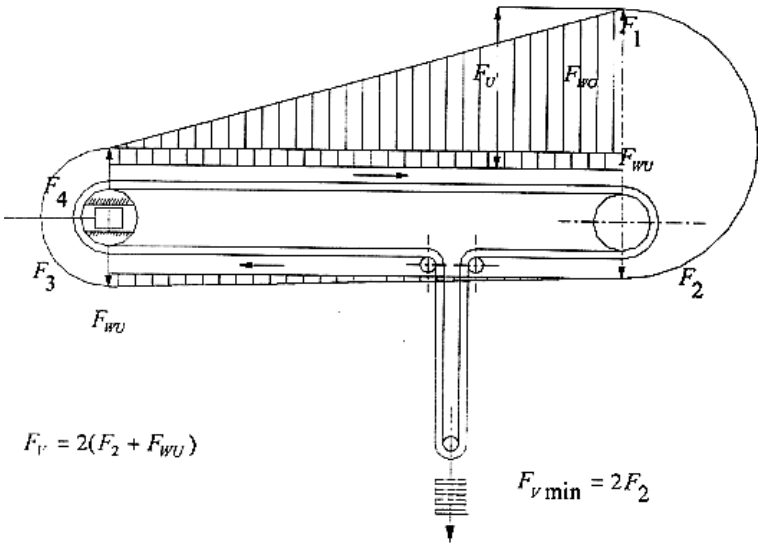
$$F_3 \quad = \quad F_4$$

$$F_3 \quad = \quad F_2 + F_{WU} \tag{2.30}$$

$$F_{WU} \quad = \quad f_{ges}.L.\ (G_B+G_{RU}) \tag{2.31}$$

แล่นของชุดลูกกลิ้งมีสายพานต่างๆ ชุดบน และชุดล่างรวมกัน ดังนั้นจะได้จากสมการที่ 2.32

$$F_U \quad = \quad F_{WU} + F_{WO} \tag{2.32}$$



ภาพที่ 2.28 แสดงไดอะแกรมภาระแรงที่ปรากฏบนระนาบสายพาน

แรงขับที่ขอบล้อสายพาน FU นั้นมีค่าเท่ากับแรงต้านทานปกติทั่วๆ ไป ค่าความต้านทานมีอัตราส่วนดังนี้ (ดังสมการที่ 2.33)

$$\frac{F_{WO}}{F_{wU}} = 4 : 7 \qquad (2.33)$$

เมื่อกำหนดให้

F_1 คือ ค่าแรงดึงสูงสุดในเนื้อสายพาน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

F_2 คือ แรงดึงสายพานค่าน้อยที่สุด ณ ล้อกลับสายพาน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

F_3 คือ แรงดึงสายพาน ณ ล้อกลับสายพานด้านล่าง มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

F_4 คือ แรงดึงสายพาน ณ ล้อกลับสายพานด้านบน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

F_{WU} คือ แรงต้านทานแล่นที่ลูกกลิ้งสายพานชุดล่าง มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

f_{ges} คือ สัมประสิทธิ์แรงอัดรวม

L คือ ความยาวการขนถ่าย มีหน่วยเป็นเมตร

G_B คือ น้ำหนักสายพานต่อเมตร มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร

G_{RU} คือ น้ำหนักของลูกกลิ้งสายพานส่วนล่างขณะหมุนใช้งาน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร

F_{WO} คือ แรงต้านทานแล่นที่ลูกกลิ้งสายพานชุดบน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน

2.2.9 การออกแบบงานเชื่อม ดังนั้นงานเชื่อมโลหะ คือ การนำชิ้นงานสองชิ้นหรือมากกว่ามาประสานกัน โดยมีหลักอยู่ว่าชิ้นงานจะต้องต่อกันโดยการหลอมละลายโลหะทั้งสอง ณ อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยจะมีการเติมตัวประสานโลหะ (Filler metal) หรือไม่เติมก็ได้ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่นำมาเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า ในการออกแบบ (Design) งานเชื่อมจะต้องยึดหลักในการออกแบบอยู่ 2 ประการ คือ ราคาในการสร้างควรจะถูกที่สุด และความแข็งแรง เมื่อราคาถูกแล้วชิ้นงานนั้นควรจะต้องแข็งแรงด้วย เมื่อผู้ออกแบบงานเชื่อมออกแบบมาแล้ว เขาจะต้องตรวจสอบดูความแข็งแรงของงานอีกทีหนึ่ง แต่ในการออกแบบยังมีข้อควรพิจารณาดังนี้ คือ ชนิดของการต่อ ข้อบกพร่องในการเชื่อมโลหะ การหักเหของแรงบริเวณตะเข็บเชื่อม แรงดึงต่อตะเข็บขณะรับโมเมนต์ตัด และการสะสมความร้อนในแนวเชื่อม ดังนั้นพื้นฐานการออกแบบด้วยโครงสร้างเหล็ก จัดเป็นวัสดุโครงสร้างที่สำคัญประเภทหนึ่ง วิศวกรโครงสร้างจะใช้เหล็กที่มีคุณสมบัติง่าย ในการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้ายึดโลหะประสานเข้าด้วยกัน

2.2.9.1 ประเภทของงานเชื่อมโลหะ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) Fusion welding คือ ชิ้นส่วนของงานเชื่อมนี้จะเชื่อมติดกัน โดยที่โลหะบริเวณแนวเชื่อมจะหลอมละลาย (Melted condition) เข้าติดกันโดยมีการเติมโลหะ (Filler metal) หรือไม่เติมก็ได้

2) Pressure welding คือ ชิ้นส่วนของงานเชื่อมชนิดนี้ จะเชื่อมติดกันโดยที่โลหะบริเวณแนวเชื่อมจะอยู่ในสภาวะที่เริ่มจะเป็นของเหลว (Plastic condition) แล้วใช้แรงกดบริเวณแนวเชื่อมให้อัดติดกัน การเชื่อมแบบนี้จะไม่มีการเติมลวดเชื่อม (Filler metal)

2.2.9.2 คุณภาพของงานเชื่อมโลหะ ในงานเชื่อมเราต้องคำนึงถึงข้อมูลต่างๆ ที่จะทำให้คุณภาพของงานเชื่อมโลหะออกมาดีนั้น จะต้องพิจารณาข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ชนิดของโลหะที่จะนำมาเชื่อม หมายถึง วัสดุชิ้นงานนั้นเอง จะต้องสามารถนำมาเชื่อมโลหะได้ หรือรู้ว่าโลหะที่เชื่อมแบบไหนจึงจะเหมาะสม

2) การเตรียมชิ้นงาน หมายถึง การเตรียมชิ้นงานก่อนเชื่อมโลหะ เช่น การบากชิ้นงานที่จะเชื่อมให้โลหะติดกัน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ช่างเชี่ยวชาญควรควบคุมให้ถูกต้องด้วย

3) วิธีการเชื่อม หมายถึง ลักษณะ และท่าทางในการเชื่อมต้องกระทำอย่างถูกต้อง

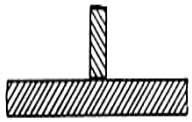
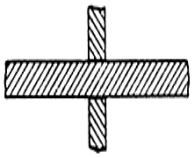
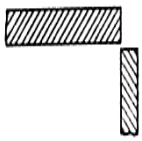
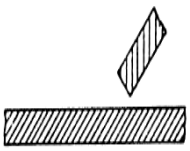
4) โลหะของลวดเชื่อม หมายถึง ชนิดของโลหะของ Electrode หรือ Filler-Material สามารถเข้าถึงชิ้นงานที่ทำการเชื่อมโลหะได้

5) ความสามรถในการเชื่อม หมายถึง ความชำนาญ ความสามารถของช่างเชื่อมโลหะ หรือฝีมือในการเชื่อมโลหะ

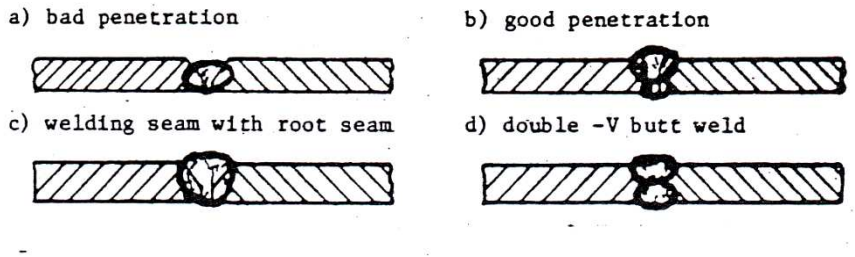
6) การทดสอบ หมายถึง การหาข้อบกพร่อง หรือข้อผิดพลาดของงานเชื่อมโลหะ ซึ่งการทดสอบจะเป็นปัจจัยที่บอกคุณภาพว่าดีหรือไม่ดี ได้แก่ เครื่องตรวจสอบ X-RAY เป็นต้น

2.2.9.3 รอยต่อชิ้นงานที่นำมาเชื่อมโครงสร้าง มีด้วยกันหลายรอยต่อ (ดังตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 ชนิดของการต่อ (Weld Joint) ในการเชื่อมโลหะ

รอยต่อ	การวางชิ้นงาน	ลักษณะการวาง
รอยต่อชน	ชิ้นงานจะวางในแนวระนาบเดียวต่อกัน	
รอยต่อเกย	ชิ้นงานทั้งสองชิ้นจะวางเกยซึ่งกันและกัน	
รอยต่อตัวที	ชิ้นงานชิ้นหนึ่งจะวางตั้งฉากบนชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่ง	
รอยต่อตัวทีสองด้าน หรือรอยต่อกากบาท	ชิ้นงานสองชิ้นจะวางตั้งฉากตรงกันบนชิ้นงานชิ้นหนึ่งในตำแหน่งตรงกันข้าม	
รอยต่อมุม	จะวางชิ้นงาน 2 ชิ้น ให้มุมชนกันเป็นมุมฉากต่อกัน	
รอยต่อเอียง	ชิ้นงานชิ้นหนึ่งวางทำมุมในแนวเอียงกับชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่ง	

ดังนั้นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการเชื่อมโลหะ (ดังภาพที่2.29) จะเกิดเนื่องจากรอยบาก (Notch Effect) การเชื่อมโลหะที่ไม่ดี จะทำให้เกิดการไหลซึมของโลหะไม่ดี และจากสาเหตุอันนี้ จะทำให้เกิดการสะสมของความเค้น (Stress loading) ที่บริเวณแนวเชื่อมโลหะ และเมื่อชิ้นงานรับภาระแบบสั่นสะเทือน (Vibration loading) แล้วชิ้นงานก็จะเกิดพังเสียหายได้ง่าย



ภาพที่ 2.29 แสดงการไหลซึมของน้ำโลหะบริเวณแนวเชื่อม

2.2.10 พื้นฐานการออกแบบด้วยโครงสร้างเหล็ก

เหล็กโครงสร้างถือว่าเป็นวัสดุโครงสร้างที่มีความสำคัญประเภทหนึ่ง วิศวกรโครงสร้างใช้เหล็กในการก่อสร้างอาคาร สะพาน โครงถัก โครงหลังคา เสาส่งสายไฟแรงสูง ป้ายโฆษณา และโครงสร้างอื่นๆ อีกมากมาย คุณสมบัติเด่นที่เหล็กมีเหนือวัสดุโครงสร้างอื่น คือ

2.1.10.1. มีกำลังสูง โครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก จึงมีน้ำหนักเบากว่าโครงสร้างที่ทำด้วยวัสดุอื่น

2.1.10.2 มีความเหนียว (Ductility) มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างก่อนการวิบัติได้มาก เหมาะกับการรับแรงแผ่นดินไหว หรือแรงกระแทก

2.1.10.3 สามารถนำเหล็กรูปต่างๆ มาประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างที่มีรูปร่าง และขนาดตามต้องการ การก่อสร้างทำได้รวดเร็ว และเป็นการลดเวลาในการก่อสร้างได้เป็นอย่างมาก

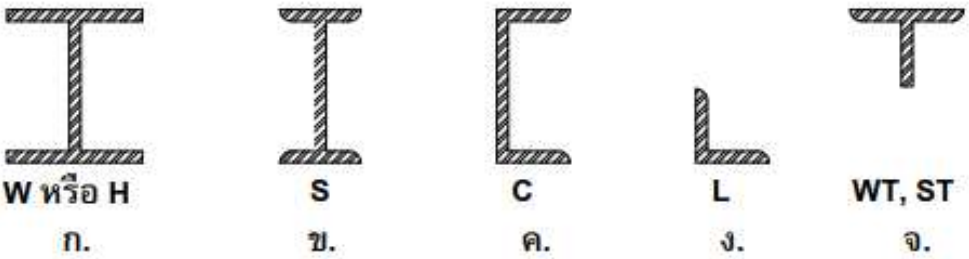
ข้อดี

- ให้กำลังสูง และมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ
- มีความยืดหยุ่นสูง และมีความอ่อนตัว
- ใช้เวลาในการสร้างตัวน้อย

ข้อเสีย

- ราคาแพง และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง เช่น เมื่อเกิดสนิม
- กำลังตกเมื่อโดยความร้อน และเกิดการโก่งงอได้ง่าย

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (Structural Steel) คือ เหล็กที่ผลิตออกมามีหน้าตัดเป็นรูปลักษณะต่างๆ สำหรับใช้ในงานโครงสร้าง แบ่งการผลิตออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน และ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดเย็น



ภาพที่ 2.30 แสดงลักษณะเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (Structural Steel)

เหล็กรูปพรรณ (ดังภาพที่2.30) จำแนกตามรูปร่างได้ดังต่อไปนี้

1. เหล็กประเภท W (Wide-flange Shape) ตาม ASTM. เหล็กรูป H ตาม มอก. สำหรับประเทศไทย (ดังภาพที่ 2.30ก.) เป็นเหล็กที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จะมีแกนสมมาตรสองแกน การกำหนดชนิดของเหล็กจะเขียนด้วยอักษร W หรือ H ตามด้วยความลึก x กับน้ำหนักเป็น กก./ม.

เช่น 66 ได้แก่ เหล็ก H มีความลึก 400 มม. และมีน้ำหนัก 66 กก./ม. เหล็กประเภท H หรือ W×H400 จะมีความหนาของปีกคงที่

2. เหล็ก S (S Shape) หรือตาม มอก. (ดังภาพที่ 2.30ข.) จะเป็นเหล็กที่มีลักษณะแกนสมมาตรสองแกน เดิมมีชื่อเรียกว่า I-Beam เหล็กประเภทนี้มีความกว้างของปีกน้อยกว่าเหล็ก W หรือ H และจะมีความหนาปีกที่ไม่คงที่

3. เหล็ก M (M Shape) จะมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเหล็ก M ได้แก่ 25.6 มม. ซึ่งมีความลึก 360 มม. และน้ำหนัก 25.6 กก./ม.

4. เหล็ก C (C Shape) (ดังภาพที่ 2.30ค.) เป็นเหล็กที่มีรูปร่างเหมือนตัว C เหล็กรูปร่างนี้มีแกนสมมาตรเพียงแกนเดียว เดิมมีชื่อเรียกว่า American Standard Channels C150 ได้แก่ เหล็กรูปรางน้ำ ที่มีความลึก 150 มม. และน้ำหนัก 18.6 กก./ม.

5. เหล็ก MC (MC Shape) มีรูปร่างเหมือนเหล็กรูปรางน้ำ มีชื่อเรียกว่า Miscellaneous Channels

6. เหล็ก L (L Shape) (ดังภาพที่ 2.30ง.) จะมีรูปร่างเหมือนตัว L ได้แก่ เหล็กฉากขาเท่ากันและขาไม่เท่ากัน L50x50x4 ได้แก่ เหล็กฉากขาเท่ากัน โดยจะมีขายาวข้างละเท่ากับ 50 มม. และจะมีความหนา 4 มิลลิเมตร ส่วน L75x50x6 ได้แก่ เหล็กฉากขาไม่เท่ากัน มีขายาว 75 มม. และ 50 มม. ตามลำดับ ความหนาของขาจะเท่ากับ 6 มม.

7. เหล็ก T (T Shape) (ดังภาพที่ 2.30จ.) จะมีรูปร่างเหมือนเหล็กตัว T ได้จากการตัดเหล็ก W, S และ M ออกเป็นสองส่วน ซึ่งปกติแล้วจะแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน การตัดออกจากเหล็ก W เรียกว่า WT ตัดออกจากเหล็ก S เรียกว่า ST และการตัดออกจากเหล็ก M เรียกว่า MT สัญลักษณ์ WT 200x33 ได้แก่ เหล็กรูปตัว T มีความลึก 200 มม. หนัก 33 กก./ม.

ดังนั้นจากข้อมูลเหล็กรูปพรรณที่ได้กล่าวมานั้น คณะผู้ศึกษาวิจัย ได้ศึกษาออกแบบพัฒนาโครงสร้างฐานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง โดยได้เลือกใช้เหล็กฉากตัวแอล (L) มาทำโครงสร้างฐานเครื่องสับมันสำปะหลังและโครงสร้างชุดสายพานลำเลียงแบบกึ่งอัตโนมัติที่ได้ออกแบบพัฒนาสร้างขึ้น

2.3 หลักการลดขนาดของวัสดุ

หลักการที่ใช้ในการลดขนาดวัตถุมี 3 หลักการใหญ่ ๆ คือ การตัด, การกดอัด และการเฉือน ซึ่งอาจจะประกอบไปด้วยแบบใดแบบหนึ่ง หรือหลายแบบรวมกันก็ได้

2.3.1 การตัด (Cutting) เป็นการลดขนาดโดยการกดด้วยใบมีด ที่มีความคม และบางผ่านไปยังวัสดุ ที่ต้องการลดขนาด

2.3.2 การกดอัด (Pressing) เป็นการลดขนาด โดยการประยุกต์แรง ให้เกิดแรงอัดกับวัสดุที่ต้องการลดขนาดของวัสดุ โดยแรงที่ใช้อาจจะมาจากหลายทิศทางก็ได้ จึงทำให้ได้วัสดุที่ไม่สม่ำเสมอ

หลังการได้กดอัด เพื่อลดขนาดของวัสดุนั้น

2.3.3 การเฉือน (Shearing) จะอาศัยแรง 2 ทิศทางวิ่งออกจากวัตถุดิบ เป็นการผสมกันระหว่างการตัด และการกดอัด หากการเฉือนบาง และมีความคม เรียกว่า การตัด แต่ถ้าหากหนาและทู่ เรียกว่า การอัด

2.4 แรงที่ทำให้วัสดุแตกหรือขาดออกจากกัน

วิธีการย่อยวัสดุที่ทำให้วัสดุแตก หรือขาดแยกออกจากกันนั้น อาจทำได้ 5 แบบ ดังต่อไปนี้

2.4.1 การทุบหรือการตี (Beating) เป็นการใช้พื้นที่ของอุปกรณ์ หรือเครื่องมือทุบก้อนของแข็ง

2.4.2 การบีบ (Pressing) เป็นการกดบีบก้อนของแข็ง ด้วยพื้นที่สองด้านของเครื่องมือในทิศทางตรงกันข้ามหรือมากกว่านั้น

2.4.3 การเฉือน (Shearing) อาศัยการเสียดสีระหว่างพื้นที่สองด้านของเครื่องมือ

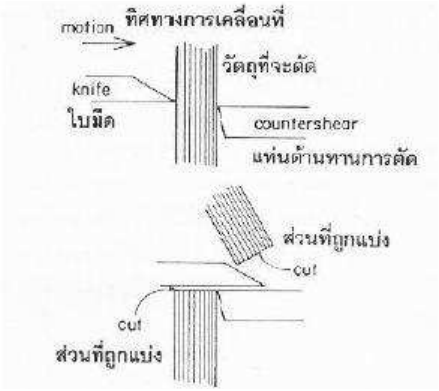
2.4.4 การกระแทก (Impact) เป็นการใช้พื้นที่ใช้งานของเครื่องมือกระทบกับก้อนของแข็ง

2.4.5 การตัด (Cutting) เป็นการใช้ความคมของเครื่องมือเคลื่อนผ่านวัสดุ

ดังนั้น กระบวนการตัด คือ กระบวนการทางกลที่แบ่งรูปของวัตถุคงรูป (Rigid body) ตามแนวเส้นที่กำหนดไว้แล้ว โดยใช้เครื่องตัด (Cutting tools) ซึ่งมีลักษณะเป็นขอบแน่นอน และจะเห็นได้ชัดในกรณีทั่วไป วัตถุเดิมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ทำให้มีผิวที่เกิดใหม่ ซึ่งเรียกว่า ส่วนที่ถูกแบ่ง การตัดจะเกิดขึ้นได้ จะประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ประการ คือ วัตถุที่จะตัดใบมีดแท่นรองรับการตัด หรือเฉียงโดยใบมีดมีการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุที่จะตัด ซึ่งถูกยึดให้อยู่กับที่ ด้วยแท่นรองรับการตัด ดังนั้น การตัด (ภรต และคณะ, 2539) สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

ก) การตัดแบบกรรไกร (Scissors cut) คือ การตัดที่ใบมีด และแท่นต้านทานการตัด หรือการเขี่ย (Counter shear) จะมีการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัตถุทั้งคู่

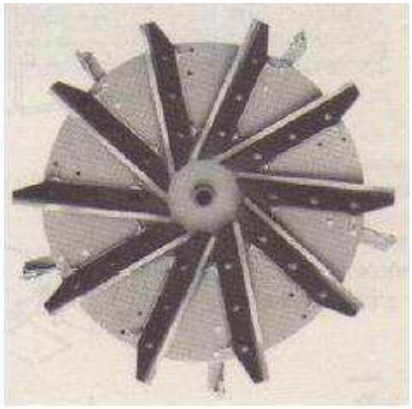
ข) การตัดแบบมีด (Knife cut) คือ การตัดที่ขอบใดๆที่มีความคม หรือใบมีดเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัตถุเพียงอย่างเดียว (ดังภาพที่ 2.31)



ภาพที่ 2.31 แสดงการตัดแบบมีด

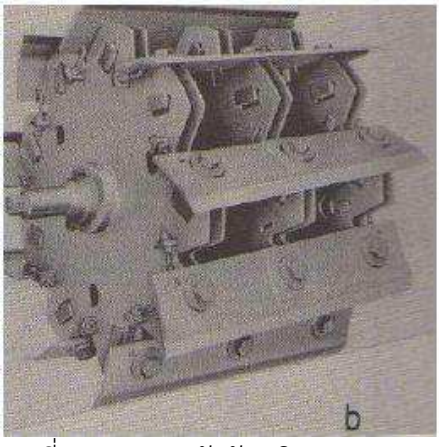
กลไกสำคัญที่ก่อให้เกิดการสับในเครื่องสับพืชอาหารสัตว์ มีส่วนประกอบที่เรียกว่า หัวสับ (Cutter head) (ภรต และคณะ, 2539) ซึ่งสามารถแบ่งหัวสับออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel Type) รูปร่างของหัวสับ (ดังภาพที่ 2.32) จะมีลักษณะเป็นจานกลม ใบมีดจะติดอยู่ในแนวรัศมี โดยปกติจะมีใบมีดประมาณ 4-6ใบ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวสับประเภทนี้ค่อนข้างใหญ่อาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 1.25 เมตร และจะมีจำนวนของใบมีดได้ตั้งแต่ 2 ใบ, 5 ใบ และ 10 ใบ สำหรับเครื่องเก็บเกี่ยวหญ้าในแปลง (Forage harvester) บนหัวสับประเภทนี้ จะมีใบพัดอยู่ 3 ใบ หรือ 4 ใบ จะติดอยู่รอบเส้นรอบวงของหัวสับ โดยจะทำหน้าที่เหวี่ยงวัสดุที่ถูกสับขึ้นไปทางด้านบน



ภาพที่ 2.32 แสดงหัวสับชนิดจานกลม

2) หัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type) รูปร่างของหัวสับประเภทนี้ จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยปกติจะมีใบมีด 6 ใบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 38- 46 เซนติเมตร (15-16 นิ้ว) หรือหากมีใบมีด 9 ใบมีด จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 61 เซนติเมตร (24 นิ้ว) หัวสับชนิดทรงกระบอกนี้ จะทำงานในลักษณะการสับ และการเหวี่ยง (Direct throw) (ดังภาพที่ 2.33)



ภาพที่ 2.33 แสดงหัวสับชนิดทรงกระบอก

หัวสับ (Cutter head) ไม่ว่าจะมีลักษณะแบบใดก็ตาม จะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันดังนี้

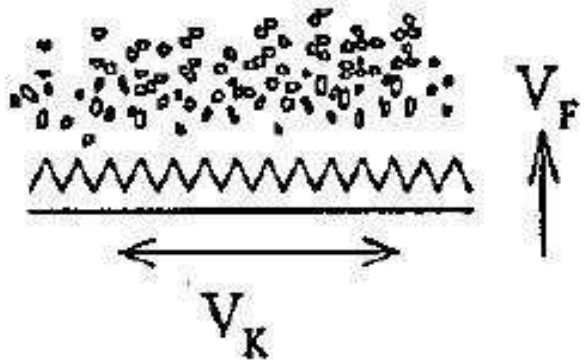
1) การติดตั้งใบมีด หรือรูปร่างลักษณะของใบมีด จะทำให้การตัดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นไปตามลำดับ จากมุมใดมุมหนึ่งของใบมีด ไปยังด้านตรงข้าม ทั้งนี้เพื่อลดแรงบิดที่เกิดขึ้น

2) ใบมีดสามารถถอดออกได้ เพื่อเพิ่มความยาวในการสับ แต่ใบมีดที่เหลือจะต้องมีระยะห่างเท่าๆกัน เพื่อให้เกิดความสมดุลของหัวสับ

2.5 การเคลื่อนที่ของใบมีดและการป้อน

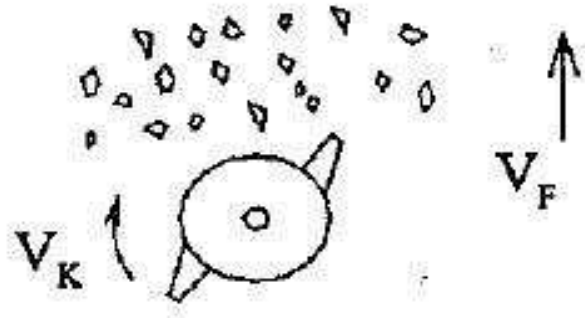
การเคลื่อนที่ใบมีด และการป้อน จะมีอยู่ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

2.5.1 แบบ Sickle bar: เป็นการเคลื่อนที่ของใบมีดแบบชักไปชักมา ในแนวเชิงเส้นเคลื่อนที่เข้าหาพืช ในแนวตั้งฉากกับการชักใบมีด (ดังภาพที่ 2.34)



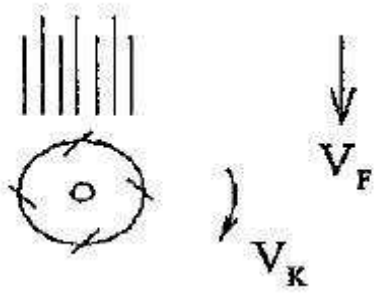
ภาพที่ 2.34 แสดงการเคลื่อนที่ของใบมีดแบบ Stickle bar

2.5.2 แบบ Rotary cutter: เป็นการเคลื่อนที่ของมีดแบบหมุนเป็นวงกลม แล้วเคลื่อนใบมีดไปตัดวัสดุ หรือป้อนพืชเข้ามาหาการหมุนเป็นวงกลม พืชจะถูกตัดตามแนวรัศมีของใบมีดที่หมุนเป็นวงกลม (ดังภาพที่ 2.35)



ภาพที่ 2.35 แสดงการเคลื่อนที่ของใบมีดแบบ Rotary cutter

2.5.3 การเคลื่อนที่ของใบมีดแบบ Rotary วัสดุตัดจะถูกป้อนเข้าหาใบมีด โดยการเคลื่อนที่ของใบมีดเป็นวงกลมอยู่กับที่ และวัสดุหรือพืชจะถูกป้อนเข้ามาหาการหมุน (ดังภาพที่ 2.36)

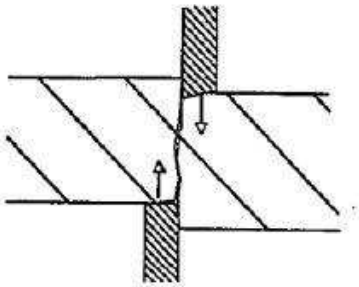


ภาพที่ 2.36 แสดงการเคลื่อนที่ของใบมีดแบบ Rotary

2.6 ลักษณะการตัดพืช

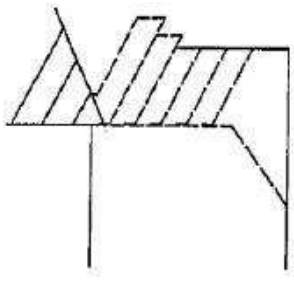
ลักษณะการตัดพืช จะมีหลายลักษณะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.6.1 Solid cut เป็นการตัดพืช ที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในการรับแรงกดได้สูง ดังนั้นจะมีความต้านทานแรงเฉือนเท่ากันทุกทิศทาง และจะมีความเร็วสัมพัทธ์ของพืชกับมีดสับ โดยจะมีค่าน้อย (ดังภาพที่ 2.37)



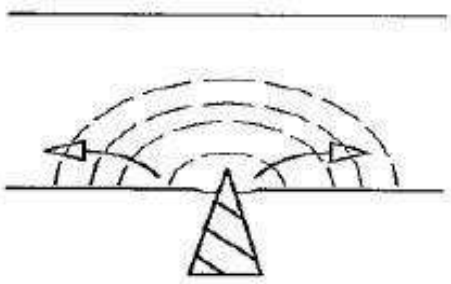
ภาพที่ 2.37 แสดงลักษณะการตัดแบบ Solid cut

2.6.2 Chip – forming cut, brittle material, in shear คล้ายกับการตัดแบบ Solidcut การเสียหายของพืชนั้น จะเกิดตามความโค้ง และจะมีความลาดเอียงของผิวอยู่ที่ประมาณ 45 องศา กับระนาบที่ต้องการตัด (ดังภาพที่ 2.38)



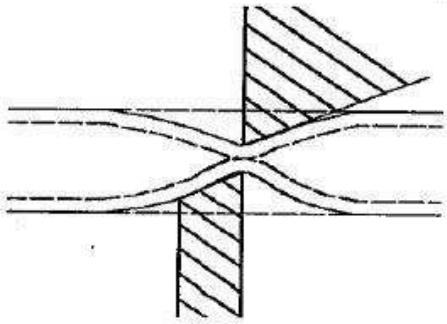
ภาพที่ 2.38 แสดงลักษณะการตัดแบบ Chip – forming cut

2.6.3 Plastic cut เมื่อปลายมีดออกแรงกดต้นพืช จะทำให้ต้นพืชก่อรูปร่างเป็นคลื่นภายในต้นพืชขยายรัศมีเป็นวงกว้าง จากจุดที่กระทำการตัด เกิดเป็นแนวรัศมี เมื่อวัสดุพืชมีความชื้นมาก และใบมีดมีความคมมาก (ดังภาพที่ 2.39)



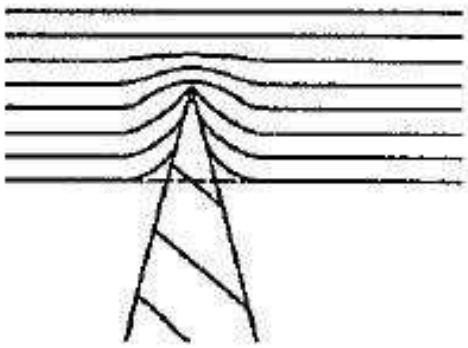
ภาพที่ 2.39 แสดงลักษณะการตัดแบบ Plastic cut

2.6.4 Solid cut after compression ลักษณะของพืชซึ่งมีลักษณะหน้าตัดคล้ายท่อ หรือพืชที่มีแกนอ่อน การตัดจะเกิดการอัดก่อนที่โครงสร้างของพืชจะเสียหาย แรงตัดจะเพิ่มขึ้นระหว่างการเลื่อนมีด (ดังภาพที่ 2.40)



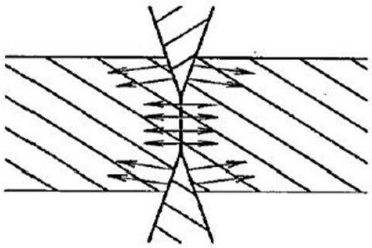
ภาพที่ 2.40 แสดงลักษณะการตัดแบบ Solid cut after compression

2.6.5 Cut in local tension เกิดกับพืชที่มีลักษณะโครงสร้างเรียงตัวกันเป็นเส้นใย (ดังภาพที่ 2.41)



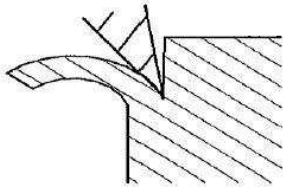
ภาพที่ 2.41 แสดงลักษณะการตัดแบบ Cut in local tension

2.6.6 Wedging cut ถ้าใบมีดได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้น ให้มีรูปร่างเหมือนลิ่มบางๆ จะทำให้เกิดความเสียดทานบนใบมีดมีค่าน้อยมาก แรงตั้งฉากกับการเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในพืช ทำให้ใบมีดสามารถฉีกพืชออกในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ (ดังภาพที่ 2.42)



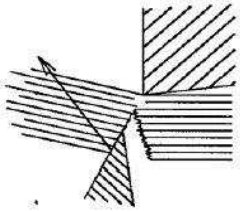
ภาพที่ 2.42 แสดงลักษณะการตัดแบบ Wedging cut

2.6.7 Chip forming cut Ductile material การตัดแบบนี้จะทำให้พืชมีลักษณะการม้วนจะเกิดกับพืชที่มีความยืดหยุ่นของโครงสร้างผนังเซลล์ (ดังภาพที่ 2.43)



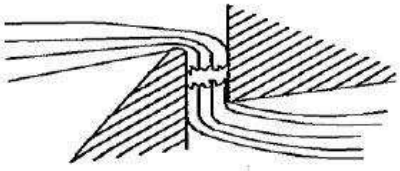
ภาพที่ 2.43 แสดงลักษณะการตัดแบบ Chip forming cut

2.6.8 Bending cut เมื่อมีช่องว่างระหว่างใบมีดกับแท่นรองตัดมาก ใบมีดจะออกแรงตัดพืชทำให้เกิดการขาดของพืชด้วยโมเมนต์ (ดังภาพที่ 2.44)



ภาพที่ 2.44 แสดงลักษณะการตัดแบบ Bending cut

2.6.9 Tearing cut การตัดในกรณีที่มีช่องว่างระหว่างใบมีดกับแท่นรองตัดมาก และก้านพืชที่ตัดมีขนาดความหนาบาง ใบมีดจะพยายามดันทำให้พืชขาดออกจากกันได้ (ดังภาพที่ 2.45)

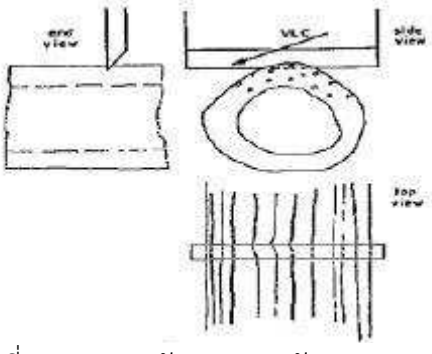


ภาพที่ 2.45 แสดงลักษณะการตัดแบบ Tearing cut

2.6.10 Scraping cut เป็นการตัดที่ใบมีดจะเลื่อนเฉียงไปตามแนวผิว โดยจะมีการเพิ่มแรงตัดในแนวตั้งฉากกับพืชที่ตัด ให้ขาดออกจากกัน (ดังภาพที่ 2.46)

ภาพที่ 2.46 แสดงลักษณะการตัดแบบ Scraping cut

2.6.11 Slicing cut เป็นการตัดที่เกิดในลักษณะที่ใบมีดตัดเฉียงตามระนาบมุม ที่ใช้ในการตัดลักษณะนี้จะมีมุมอยู่ที่ 45 ถึง 90 องศา (ดังภาพที่ 2.47)



ภาพที่ 2.47 แสดงลักษณะการตัดแบบ Slicing cut

2.7 การสับย่อยหัวมันมันสำปะหลัง

การลดขนาดของหัวมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัสดุทางการเกษตรโดยทั่วไป จะใช้วิธีการสับย่อยหรือบด เพื่อให้สอดคล้องความต้องการของอุตสาหกรรม และลดต้นทุนในการขนส่งการออกแบบเครื่องสับจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางกล และแรงต้านทานของมวลที่มีต่อการตัด เพื่อที่จะเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุ เมื่อถูกตัดที่สภาวะต่างกัน โดย Womac และคณะ (Womac et al., 2005) เสนอว่าในการออกแบบเครื่องตัด จะต้องรู้ค่ากำลังเฉือนสูงสุด และพลังงานที่ใช้ในการเฉือน ซึ่งค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของมวล ขนาดของมวล อายุ ความชื้นของมวล และโครงสร้างของเซลล์ภายในวัสดุ ทั้งนี้ Persson (Persson, 1987) ได้อธิบายพฤติกรรมในการตัดวัสดุของมวลว่า เมื่อใบมีดเคลื่อนที่ลงไปสัมผัสกับผิววัสดุของมวล จะทำให้เกิดแรงเค้นภายในเนื้อวัสดุสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดแตกหักได้ (failure point) ซึ่งวัสดุของมวลบางชนิด จะเกิดการแตกหักอาจเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว ในขณะที่วัสดุบางชนิดเกิดจุดแตกหักขึ้นหนึ่งจุดก่อน แล้วแรงเค้นค่อยๆสูงขึ้น และจะเกิดจุดแตกหักอีกครั้งเมื่อใบมีดผ่านเนื้อวัสดุ นั้นหมายความว่าพฤติกรรมในการตัด จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

ปัจจุบันเครื่องจักรกลทางเกษตร สำหรับการลดขนาดของมวลนั้นมีมากมาย ผลิตทั้งในและต่างประเทศ โดยหลักการทำงานจะใช้แรงบีบอัด (Compression forces) แรงกระแทก (Impact forces) หรือแรงเฉือน (Shearing forces) ขึ้นอยู่กับการออกแบบทางวิศวกรรม โดยทั่วไปในการสับย่อยลดขนาดของมวล จะใช้เครื่องจักรกล 2 ประเภท คือ

2.7.1 เครื่องชิพ (Biomass Chipping and chunking) ซึ่งเป็นเครื่องสับย่อยขนาดของมวลที่ใช้แรงกระแทก และแรงเฉือนประกอบกัน เป็นเครื่องจักรกลที่ได้รับความนิยมในการใช้กับมวลที่มีขนาดเล็ก เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเศษไม้ต่างๆ ก็สามารถที่จะนำไปใช้ได้ โดยการแปรรูปเพื่อลดขนาดของมวลนั้น ณ แหล่งกำเนิด (On-site Biomass Feedstock Processing) และเป็นแบบรวมศูนย์ (Centralized Biomass Feedstock Processing) โดยมีการเปลี่ยนแปลงต้นกำลังเพื่อสามารถนำไปใช้งานได้ดี ดังนั้นเครื่องชิพ สามารถจำแนกออกได้ตามประเภทรูปร่างของหัวสับ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel type) และหัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder type)

2.7.2 เครื่องเชรดเดอร์ (Shredder) ซึ่งเป็นเครื่องสับย่อยที่ใช้แรงกด และแรงเฉือนประกอบกัน เป็นเครื่องจักรกลที่ได้รับความนิยมใช้กับมวลที่มีขนาดใหญ่ และมีกิ่งก้าน เช่น ท่อนไม้ และเศษไม้รากไม้ ลักษณะการทำงานจะใช้หลักการขบกันของเล็บสับที่ติดกับเพลาขับ 2 เพลา หรือมากกว่าก็ได้ สามารถจำแนกออกได้ตามประเภทของหัวสับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel type) และ หัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder type) ได้เช่นเดียวกัน

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดจากการทำงานร่วมกัน ระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดนั้น ทำให้เกิดแรงดูด และเกิดมีแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง นำไปใช้งาน เช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์ฉุดลาก เป็นต้น

มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกนำไปใช้งาน ที่มีความหลากหลาย เช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่าลม ปั๊ม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าจะสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC.) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์ หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC.) เช่น จากไฟบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือเครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจจะพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ทั่วไปจะมีขนาด และคุณลักษณะมาตรฐานสูง จะให้พลังงานกลที่สะดวก สำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุด ใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมัน และปั๊มสูบจัดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 10 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้า หรือตามโครงสร้างภายใน หรือตามการใช้งานนั้น หรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุต และอื่นๆ

อุปกรณ์ เช่น ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า และลำโพงที่แปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นการเคลื่อนไหว แต่ไม่ได้สร้างพลังงานกลที่ใช้งานได้ จะถูกเรียกว่า Actuator และ Transducer ตามลำดับ คำว่ามอเตอร์ไฟฟ้านั้น จะต้องใช้มีการสร้างแรงเชิงเส้น (Linear force) หรือแรงบิด (Torque) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า การหมุน (Rotary) เท่านั้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motors) เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดี คือ จะมีความเร็วรอบคงที่ และจะมีตัวหมุน (Rotor) ส่วนมากจะเป็นชนิดกรงกระรอก (Squirrel Cage) ไม่มีขดลวดพันอยู่ จึงไม่มีอันตรายจากประกายไฟฟ้าที่แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์เหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในโรงงานที่มีแก๊ส หรือน้ำมันที่ไวไฟ ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถนำไปใช้งานได้

2.8.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมาก เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนัก ต้องการการดูแลรักษาน้อย และมีความเร็วสรอบเกือบคงที่ อีกทั้งยังสามารถที่จะต่อใช้งานกับระบบไฟฟ้าของไทยได้โดยตรง เนื่องจากเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส คือ มอเตอร์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ หรือขนาดแรงดันต่ำกว่านี้ ตามพิกัดของมอเตอร์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 5 แบบ คือ

2.8.1.1 สปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase Motor) มีขนาดแรงม้าขนาดตั้งแต่ 1/4 แรงม้า, 1/3 แรงม้า, 1/2 แรงม้า จะมีขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า บางทีนิยมเรียกสปลิทเฟสมอเตอร์นี้ว่า อินดักชั่นมอเตอร์ (Induction motor) มอเตอร์ชนิดนี้ จะนิยมใช้งานมากในตู้เย็น เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องซักผ้า เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.48)

ภาพที่ 2.48 แสดงลักษณะสปลิทเฟสมอเตอร์

2.8.1.2 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor) คาปาซิเตอร์เตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่มีลักษณะคล้ายสปลิทเฟสมอเตอร์มาก ต่างกันตรงที่มีคาปาซิสเตอร์เพิ่มขึ้นมาทำให้มอเตอร์แบบนี้ จะมีคุณสมบัติพิเศษกว่าสปลิทเฟสมอเตอร์ คือ จะมีแรงบิดขณะสตาร์ทที่สูงกว่า

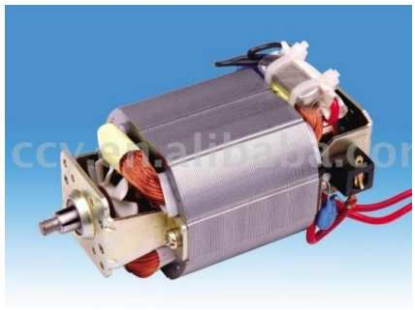
และใช้กระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทน้อย มอเตอร์ชนิดนี้จะมีขนาดตั้งแต่ 1/20 แรงม้า ถึง 10 แรงม้า มอเตอร์ชนิดนี้ จึงเป็นที่นิยมใช้งานเกี่ยวกับต้นกำลังของเครื่องจักรกล ฯลฯ (ดังภาพที่ 2.49)

ภาพที่ 2.49 แสดงลักษณะคาปาซิเตอร์มอเตอร์

2.8.1.3 รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์ (Rotor) จะต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ และมีแปรงถ่านเป็นตัวต่อลัดวงจร จึงทำให้ปรับความเร็ว และแรงบิดได้ โดยการปรับตำแหน่งแปรงถ่าน สเตเตอร์ (Stator) จะมีขดลวดพันอยู่ในร่องเพียงชุดเดียว เหมือนกับขดรันของสปลิทเฟสมอเตอร์ เรียกว่า ขดลวดเมน (Main winding) ต่อกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง แรงบิดเริ่มหมุนจะสูง ความเร็วรอบคงที่ มีขนาดตั้งแต่ 0.37-7.5 กิโลวัตต์ (10 แรงม้า) ใช้กับงานปั๊มต่างๆ คอมเพลสเซอร์ ปั๊มลม ปั๊มน้ำขนาดใหญ่ เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.50)

ภาพที่ 2.50 แสดงลักษณะรีพัลชั่นมอเตอร์

2.8.1.4 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal or Series Motor) เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก มีขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/200 แรงม้า ถึง 1/30 แรงม้า นำไปใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่โดดเด่นมาก คือ ให้แรงบิดเริ่มหมุนสูง นำไปปรับความเร็วรอบได้ ทั้งปรับวงจรลดแรงดันได้ และวงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ นิยมนำไปใช้เป็นตัวขับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องบดและผสมอาหาร มีดโกนหนวดไฟฟ้า เครื่องนวดไฟฟ้า มอเตอร์จักรเย็บผ้า สว่านไฟฟ้า เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.51)



ภาพที่ 2.51 แสดงลักษณะยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

2.8.1.5 เช็ดเด็ดโพลมอเตอร์ (Shaded-pole Motor) เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กที่สุด มีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำมาก นำไปใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กๆ เช่น ไดร์เป่าผม พัดลมขนาดเล็ก เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.52)

ภาพที่ 2.52 แสดงลักษณะเช็ดเด็ดโพลมอเตอร์

2.8.2 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า

เมื่อต้องการจะคำนวณหามอเตอร์จะได้ F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลาทำให้เพลาหมุนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบ สามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้ การคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบ สามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

สมการที่ใช้คำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่

$$S = 2\pi r \tag{2.34}$$

การคำนวณหางานในการหมุนเพลา 1 รอบ

สมการที่ใช้คำนวณหางาน

$$W_F = F \times 2\pi r \tag{2.35}$$

การคำนวณหางานในการที่เพลากระทำต่อวินาที ขณะที่เพลาหมุน n รอบต่อนาที สามารถคำนวณได้

สมการที่ใช้ในการคำนวณหางานที่เพลากระทำต่อวินาที

$$W_F = F \times 2\pi r \times n \tag{2.36}$$

การคำนวณหาแรงบิด สามารถคำนวณได้

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงบิด

$$T = F \times r \qquad (2.37)$$

เพราะฉะนั้น การคำนวณหากำลังมอเตอร์ สามารถคำนวณหาได้

สมการที่ใช้ในการคำนวณหากำลังมอเตอร์

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \qquad (2.38)$$

เมื่อ P คือ กำลังที่เพลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็นวัตต์ (w.) หรือกิโลวัตต์ (KW.)

T คือ โมเมนต์แรงบิด มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

N คือ ความเร็วรอบของเพลา มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที rpm. (1 รอบ = 2 เรเดียน)

r คือ รัศมีของเพลา มีหน่วยเป็นเมตร

การคำนวณหาความเค้นเฉือน สามารถคำนวณได้

จากสูตร $\tau = \frac{16T}{\pi D^3}$ (2.39)

เพราะฉะนั้น $T = \frac{\tau \pi D^2}{6}$ หรือ $= \frac{\sigma_{zul} \pi D^3}{16}$ (2.40)

จากสูตร $\sigma_{zul} = \frac{\sigma \lim}{v}$ (2.41)

เมื่อ τ คือ ค่าความเค้นเฉือน

V คือ ค่าความปลอดภัยในทางเครื่องกล

σ_{zul} คือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) N./mm.

$\sigma_{\lim}$ คือ พิกัดความเค้นขึ้นอยู่กับลักษณะการรับแรง

2.8.3 ประเภทของการควบคุมมอเตอร์ แบ่งตามลักษณะการสั่งอุปกรณ์ ควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน จะแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

2.8.3.1 การควบคุมด้วยมือ (Manual control) การควบคุมด้วยมือ เป็นการสั่งงานให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานควบคุม ให้ระบบกลไกทางกลได้มีการทำงาน ซึ่งการสั่งงานให้ระบบกลไกทำงานนี้ โดยส่วนมากแล้วจะใช้คนเป็นผู้สั่งงานแทบทั้งสิ้น ซึ่งมอเตอร์จะถูกควบคุมจากการสั่งงานด้วยมือโดยการควบคุมผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ท็อกเกิ้ลสวิตช์ (toggle switch) เซฟตี้สวิตช์

(safety switch) ดรัมสวิตช์ (Drum switch) ตัวควบคุมแบบหน้าจาน (Face plate control) ฯลฯ

2.8.3.2 การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic control) โดยการใช้สวิตช์ปุ่มกดทำงาน (push button) ที่สามารถควบคุมระยะไกล (remote control) ได้ ซึ่งมักจะต่อร่วมกับสวิตช์แม่เหล็ก (magnetic switch) ที่ใช้จ่ายกระแสจำนวนมากๆ ให้กับมอเตอร์แทนสวิตช์ธรรมดา ซึ่งสวิตช์แม่เหล็กนี้ อาศัยผลการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรการควบคุมมอเตอร์กึ่งอัตโนมัตินี้ จะต้องอาศัยคนคอยกดสวิตช์จ่ายไฟให้กับสวิตช์แม่เหล็ก สวิตช์แม่เหล็กจะดูดให้หน้าสัมผัสมาแตะกัน และจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ และถ้าต้องการหยุดมอเตอร์ก็จะต้องอาศัยคนคอยกดสวิตช์ปุ่มกดอีกเช่นเดิมจึงเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ ดังนั้นคณะผู้วิจัยเลือกที่จะควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ

2.8.3.3 การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control) การควบคุมแบบนี้จะอาศัยอุปกรณ์หลายๆชิ้น (pilot device) คอยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่าง ๆ เช่นสวิตช์-ลูกลอยทำหน้าที่ตรวจวัดระดับน้ำในถังคอยสั่งให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเมื่อน้ำหมด ถังและสั่งให้มอเตอร์หยุดเมื่อน้ำเต็มถัง สวิตช์ความดัน (pressure switch) ทำหน้าที่ตรวจจับความดันลม เพื่อสั่งให้ปั๊มลมทำงานเทอร์โมสตัททำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้า ตามอุณหภูมิสูงหรือต่ำ เป็นต้น วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบนี้เพียงแต่ใช้คนกดปุ่มเริ่มเดินมอเตอร์ในครั้งแรกเท่านั้น ต่อไปวงจรก็จะทำงานเองโดยอัตโนมัติตลอดเวลา

ดังนั้นคณะผู้ศึกษาวิจัย จึงได้มีการออกแบบพัฒนาการทำงานของเครื่องสับ ให้มีการควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic Control) เป็นการนำอุปกรณ์ต่างๆ เข้ามาช่วยในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ (ดังภาพที่ 2.52) ได้แก่ แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ (Magnatic Contactor) และสวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch) ตั้งแต่ 1 หรือ 2 ชุดขึ้นไป สวิตช์ปุ่มกดนี้ จะทำหน้าที่เริ่มการทำงานของเครื่องสับ หรือปุ่มสตาร์ท (Start) และทำหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่องสับ หรือปุ่มหยุด (Stop) โดยการควบคุมการทำงานของแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ให้ต่อ หรือเปิดหน้าสัมผัส (Contact) เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า

การควบคุมวิธีนี้จะดีกว่าการควบคุมด้วยมือ เพราะสามารถออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าได้จากหลายที่ ทั้งการเริ่มต้นทำงาน (Start) และการหยุดทำงาน (Stop) และสามารถที่จะจัดวางตู้ควบคุมห่างจากเครื่องจักรได้ เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ควบคุมยิ่งขึ้น

อุปกรณ์วงจรควบคุมเครื่องกลทางไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าสำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้านั้นจะประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าหลายชนิด นำมาใช้ประกอบวงจรร่วมกัน เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องกลไฟฟ้าได้ดี ให้การทำงานตามความต้องการได้อย่างถูกต้องโดยมีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัยในการใช้งาน อุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งควบคุมการทำงาน คือ

1) สวิตช์ปุ่มกด (Push button Switch) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้า โดยทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า (ดังภาพที่ 2.53)

ภาพที่ 2.53 แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกด

2) สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้ในการเริ่มทำงาน (Start) และหยุดการทำงาน (Stop) อยู่ในกล่องเดียวกัน ปุ่มกดสีเขียวสำหรับกดเริ่มทำงานของมอเตอร์ (Start) และปุ่มกดสีแดงนั้น ใช้สำหรับกดหยุดการทำงานของมอเตอร์ (Stop) เหมาะสำหรับกับการใช้งานมอเตอร์ขนาดเล็ก (ดังภาพที่ 2.54)

ภาพที่ 2.54 แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกดเปิดและปิดในกล่องเดียวกัน

3) สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency push button Switch) เป็นสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน หรือเรียกกันทั่วไปว่า สวิตช์ดอกเห็ด เป็นสวิตช์ที่มีปุ่มกดขนาดใหญ่กว่าสวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดา ซึ่งจะเหมาะสำหรับกับงานที่เกิดเหตุฉุกเฉินบ่อยๆ หรืองานที่ต้องการหยุดการทำงานทันที (ดังภาพที่ 2.55)

ภาพที่ 2.55 แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน

4) สวิตช์ปุ่มกดที่มีหลอดสัญญาณติดอยู่ (Illuminated push button) เมื่อทำการกดสวิตช์ปุ่มกดแล้ว จะทำให้หลอดสัญญาณที่ติดอยู่ภายในสว่างขึ้น

5) สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบ (Foot push button Switch) เป็นสวิตช์ปุ่มกดที่จะทำงานได้โดยใช้เท้าเหยียบ เหมาะสำหรับกับเครื่องจักรที่ต้องทำงานโดยใช้เท้าเหยียบ เช่น เครื่องตัดเหล็ก ฯลฯ (ดังภาพที่ 2.56)

ภาพที่ 2.56 แสดงลักษณะสวิตช์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบ

6) แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ (Magnatic Contactor) หรือเรียกว่า คอนแทคเตอร์ (Contactor) เป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นตัวตัดวงจร และต่อวงจรเหมือนสวิตช์ไฟฟ้าทั่วไป (ดังภาพที่ 2.57)

ภาพที่ 2.57 แสดงลักษณะแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์

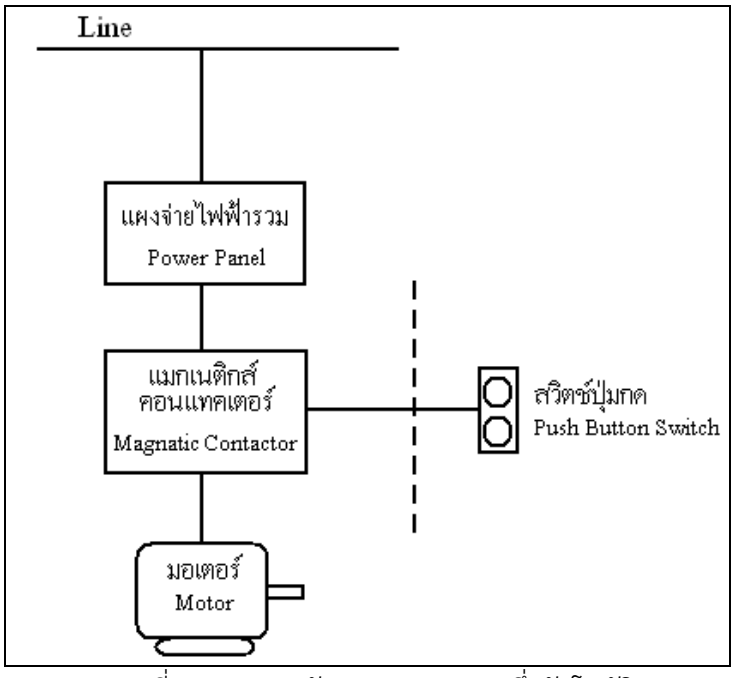
7) โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay) หรือ Protective motor relay จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์เกิดการไหม้ ที่เรียกว่า Running Protection ออกแบบใช้สำหรับตัดวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกินกว่าพิกัดของกระแสมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งจะมีผลทำให้ขดลวดของมอเตอร์ร้อนขึ้นเรื่อยๆ และไหม้ในที่สุด แต่ถ้าหากในวงจรนั้นมีการติดตั้งชุดโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay) อยู่ด้วย และมีการตั้งค่ากระแสไฟฟ้าที่ถูกต้อง วงจรควบคุมนั้นจะถูกตัดวงจรออกไปก่อนที่ขดลวดมอเตอร์จะเกิดการไหม้ (ดังภาพที่ 2.58)

ภาพที่ 2.58 แสดงลักษณะโอเวอร์โหลดรีเลย์

8) ทามเมอร์รีเลย์ (Timer Relay) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในงานควบคุม ที่สามารถกำหนดตั้งเวลาการทำงานของหน้าสัมผัสได้ จึงนำไปใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยจะแบ่งลักษณะการทำงานของหน้าหน้าสัมผัสได้ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบหน่วงเวลาหลังจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้า (On –delay) และแบบหน่วงเวลาหลังหยุดกระแสไฟฟ้าเข้า (Off –delay) การทำงานเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับทามเมอร์รีเลย์แล้ว หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นสภาวะตรงข้ามทันที เมื่อหยุดกระแสไฟฟ้าแล้ว และถึงเวลาที่ตั้งไว้หน้าสัมผัสจึงจะกลับอยู่ในสภาวะเดิม (ดังภาพที่ 2.59)

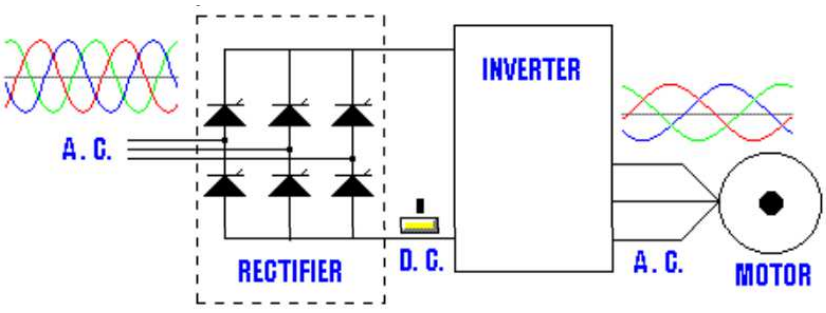
ภาพที่ 2.59 แสดงลักษณะทามเมอร์รีเลย์

ดังนั้นคณะผู้ศึกษาวิจัยเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ จึงพัฒนาโดยได้ออกแบบให้เครื่องลำเลียงหัวมันสำปะหลัง และสับหัวมันสำปะหลัง โดยมีการควบคุมการทำงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic Control) (ดังภาพที่ 2.60)



ภาพที่ 2.60 แสดงผังการควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ

คณะผู้ศึกษาวิจัย ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ได้มีการพัฒนาเครื่องสับ โดยได้นำระบบอินเวอร์เตอร์มาติดตั้งร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อลดการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นกับมอเตอรไฟฟ้านั้นก็คือ การนำอินเวอร์เตอร์มาติดตั้งร่วมกับมอเตอร์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือเอซีไดร์ฟ (AC Drive) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของเอซีมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้า สามารถทำงานได้เหมาะสมกับสภาพการทำงาน ในแต่ละช่วงเวลานั้น (ดังภาพที่ 2.61)

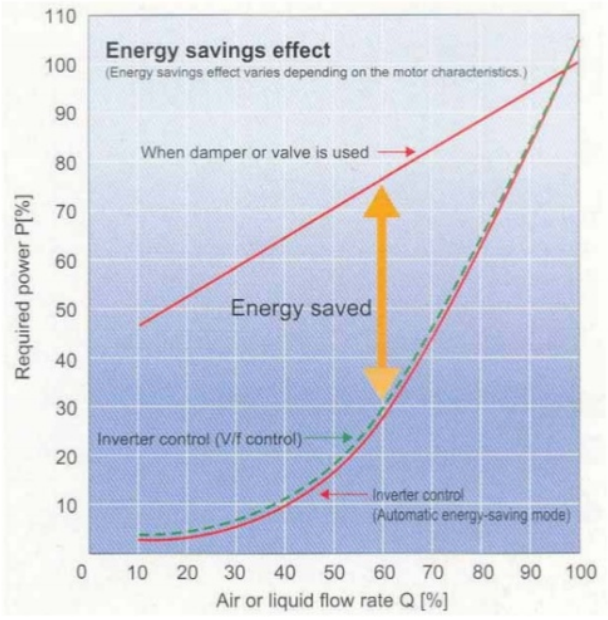


ภาพที่ 2.61 แสดงหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

หลักการทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ จะประกอบไปด้วย

1) Rectifier circuit ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะใช้เพาเวอร์ไดโอด 6 ตัว ในกรณีไฟฟ้า 3 เฟส
2) DC. link เป็นวงจรที่จะมีการเชื่อมโยงระหว่างวงจรเรกติไฟเออร์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยจะประกอบไปด้วย แคปปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ แรงดันไฟฟ้า 400 VDC. หรือ 800 VDC. โดยจะขึ้นอยู่กับแรงดันขาเข้าว่าเป็นแบบเฟสเดียว หรือ 3 เฟส ซึ่งจะทำหน้าที่กรองไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบยิ่งขึ้น และทำหน้าที่เก็บประจุกระแสไฟฟ้า ขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงสั้น เนื่องจากการเบรก หรือมีการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ลงอย่างรวดเร็ว
3) Inverter circuit เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยวงจรจะประกอบไปด้วย เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กำลัง 6 ชุด ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อกระแสไฟฟ้า เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC.)
4) Control circuit ทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้ เช่น รับข้อมูลความเร็วรอบที่ต้องการ และทำการประมวลผลข้อมูล และส่งสัญญาณออกไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ เพื่อจ่ายแรงดัน และความถี่ให้ได้ความเร็วรอบ และแรงบิดตามที่ต้องการ

ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่จะลดลง จากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้านั้น ถ้าได้มีการติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์ และเมื่อมีการเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ไม่ได้มีการติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์แล้วนั้น (ดังภาพที่ 2.62)



ภาพที่ 2.62 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์

2.9 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางวิศวกรรมมีความสำคัญมาก เนื่องจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ จะต้องใช้ประกอบเป็นเกณฑ์ตัดสินว่าจะคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ (ไพบูลย์ แย้มเพื่อน, 2546) สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะเป็นการประเมินค่าต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ภายหลังจากการสร้างอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว โดยใช้วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายรายปี (Annual Cost) ซึ่งค่าใช้จ่ายรายปี เป็นวิธีการคิดค่าใช้จ่าย หรือเงินลงทุนเทียบเท่ารายปีของระบบ ซึ่งสามารถวิเคราะห์การลงทุนของโครงการนั้น โดยการเปลี่ยนค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น เงินลงทุนครั้งแรก ค่าดำเนินการ และค่าบำรุงรักษา ค่าเสื่อมราคาให้มาอยู่ในรูปแบบค่าใช้จ่ายรายปี ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังสมการดังต่อไปนี้ (วินิต ชินสุวรรณ, 2546)

$$CC = P(CRF) + MO \tag{2.42}$$

โดยที่ $$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{2.43}$$

สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จะต้องคำนึงถึงมูลค่าเงินในแต่ละช่วงเวลาด้วย เนื่องจากจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดเวลา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ย (Interest Rate) หรืออัตราส่วนลด (Discount Rate) ดังนั้นวิธีนี้ใช้ในการคำนวณจำนวนปีที่คุ้มทุนของการติดตั้งอุปกรณ์ โดยจุดคุ้มทุนจะเกิดขึ้น เมื่อรายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายในการดำเนินงาน (ดังสมการที่ 2.44)

$$A_E = P \times \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \tag{2.44}$$

2.9.1 จุดคุ้มทุน (Break – even – point)

(วินิต ชินสุวรรณ, 2546) กล่าวถึงจุดคุ้มทุน (Break – even – point) ไว้ดังนี้ จุดคุ้มทุนหมายถึง ณ ระดับการผลิต หรือการขายระดับใดระดับหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดรายได้รวม (Total revenue) เท่ากับต้นทุนรวม (Total cost) ต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร

2.9.1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิต หรือการขาย ต้นทุนคงที่รวมจะคงที่ตลอดเวลา แต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะลดลง ถ้าปริมาณการผลิต หรือมีการขายสูงขึ้น เช่น ค่าเสื่อมสภาพ ค่าเช่า เงินเดือน ภาษีทรัพย์สิน เป็นต้น

2.9.1.2 ต้นทุนผันแปร (Variable costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิตหรือการขาย ถ้าปริมาณการผลิต หรือการขายมากต้นทุนผันแปรจะมาก แต่ถ้าปริมาณการผลิต หรือ

ขายได้น้อย จะทำให้ต้นทุนผันแปรน้อยตามไปด้วย นั่นคือ ต้นทุนผันแปรรวม จะเปลี่ยนแปลงรวม จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต หรือการขาย แต่ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยจะคงที่ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่านายหน้า เป็นต้น

ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด สำหรับการคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกลเกษตร สามารถคำนวณได้ดังนี้ (ดังสมการที่ 2.45)

$$D_P = \frac{(P - S)}{L} \tag{2.45}$$

เมื่อกำหนดให้

D_P = ค่าเสื่อมราคา (บาทต่อปี)

P = ราคาซื้อเครื่อง (บาท)

S = ราคาขาย หรือค่าคงเหลือ เมื่อเครื่องหมดอายุ (บาท)

L = อายุการปฏิบัติงานของเครื่องจักรกล (ปี)

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา = (ราคาเครื่อง/2) x (เปอร์เซ็นต์ดอกเบี้ย/10) (2.46)

ค่าดอกเบี้ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = ราคาเครื่อง + มูลค่าซาก x ค่าดอกเบี้ย (2.47)

2.9.1.3 ระยะเวลาคืนทุน คือ ปีที่ทำให้รายจ่ายเท่ากับรายรับ หรือเวลาที่ได้กำไรเท่ากับเงินลงทุนครั้งแรก ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังนี้ (ดังสมการที่ 2.48)

$$O = \frac{P_e}{R_t} \tag{2.48}$$

เมื่อกำหนดให้

O = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

P_e = เงินลงทุนครั้งแรก (บาท)

R_t = กำไร (บาทต่อปี)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรศักดิ์ และคณะ (2545) ได้สร้างเครื่องซอยหน่อไม้ มีขนาด 310x400x750 มิลลิเมตร เครื่องซอยหน่อไม้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 186.5 วัตต์ การทำงานโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังไปยังเพลา โดยที่เพลาจะติดตั้งชุดใบมีด เพื่อใช้ในการซอยหน่อไม้ ส่วนอุปกรณ์ที่ป้อนหน่อไม้เข้าเครื่องซอย

จะอาศัยการทำงานของลูกกลิ้งหนาม ซึ่งลูกกลิ้งหนามจะถูกขับเคลื่อนด้วยเฟือง เครื่องซอยหน่อไม้ปรับความหนาของหน่อไม้ที่ซอยได้ 3 ขนาด คือ 4 มิลลิเมตร 6 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร

บัณฑิต (2544) ได้ออกแบบเครื่องสับอาหารสัตว์สด มีส่วนประกอบหลัก คือชุดหัวสับ และชุดป้อนวัสดุ โดยชุดหัวสับเป็นทรงกระบอก ติดใบมีดจำนวน 4 ใบ ความกว้างในการสับ 300 มิลลิเมตร ส่วนชุดป้อนวัสดุประกอบไปด้วย สายพานป้อนวัสดุ ลูกกลิ้งป้อนวัสดุ และแท่นต้านทานการตัด ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า ผลการทดสอบใช้กิ่งอ่อนกระถินเป็นวัสดุทดสอบ พบว่าความเร็วรอบที่เหมาะสม คือ 250 รอบต่อนาที ให้กระถินไม่แตกคิดเป็น 92.25 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการสับมีค่าเฉลี่ย 125.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

วิจิตรา (2549) ได้ศึกษาเครื่องตัดแบบใบมีดหมุนในแนวตั้งฉากกับแนวแกน ที่ระยะห่างระหว่างใบมีด 3 ระยะ คือ 1.5, 1.8 และ 2.0 เซนติเมตร และกำหนดความเร็วรอบเพลาใบมีด 413-651 รอบ/นาที พบว่าทอร์กที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความเร็วรอบเพลาใบมีด และลดลงตามความเร็วรอบเพลาใบมีดที่เพิ่มขึ้น ทอร์กที่เกิดขึ้นในการตัดหัวมันขนาดใหญ่ และหัวมันขนาดเล็กมีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 15.33-16.47 นิวตัน-เมตร และ 4.93-6.51 นิวตัน-เมตร ชิ้นมันที่มีขนาดที่ต้องการ เมื่อตัดหัวมันขนาดใหญ่ และหัวมันขนาดเล็กมีปริมาณมากที่สุด และน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 85.52-89.55% และ 79.92-87.92% และชิ้นมันที่มีขนาดที่ต้องการมีปริมาณมากขึ้นตามระยะห่างระหว่างใบมีดที่เพิ่มขึ้น เศษชิ้นมัน และการสูญเสียมีปริมาณมากที่สุดอยู่ในช่วง 3.19-4.89% และ 0.85-1.63%

วิรัตน์ และคณะ (2557) ได้ดำเนินศึกษาวิจัย สำรวจข้อมูล พัฒนาเครื่อง และมีการถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลการดำเนินงานพบว่า เกษตรกรในชุมชนที่เลี้ยงโคนม และที่หั่นมันเส้น ได้มีความประสงค์เข้าร่วมการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี และต้องการเครื่องล้างพร้อมหั่นขนาดเล็กที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก ทำงานคนเดียวได้ โดยมีต้นกำลังที่ใช้ไฟฟ้าในบ้านได้ จึงได้พัฒนาเครื่องให้ได้ตามความต้องการดังกล่าว รวมทั้งพัฒนาชุดล้างน้ำ และชุดครอบใบมีดหั่น ให้สามารถทำความสะอาดได้สะดวก โดยมีผลการทดสอบ คือ เมื่อใช้หัวมันสำปะหลังเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-8 cm. ปรับความเร็วรอบเพลาขับที่ 45 rpm. พบว่าเครื่องมีความสามารถในการล้างพร้อมหั่นมันเส้นสะอาดได้ 1,389 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีชิ้นมันเส้นเต็ม 84.15 % และมีชิ้นแตกหัก 11.32 % เมื่อทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องล้างพร้อมหั่นมันเส้นสะอาดสำหรับชุมชนให้กับเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ผู้เลี้ยงโคนม และผู้หั่นมันเส้นสะอาด จำนวน 2 กลุ่มๆ ละ 35 คน รวม 70 คน เสร็จสิ้นแล้ว พบว่าเกษตรกรให้ความสนใจทั้งภาคบรรยาย และภาคปฏิบัติ รวมทั้งแสดงความคิดเห็นว่าหน่วยงานรัฐควรจัดหาเครื่องชนิดนี้ให้กับเกษตรกร หรือชุมชน เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร และทำให้มีอาชีพเพิ่มขึ้น ส่วนผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เข้ารับการอบรมพบว่า มีความพึงพอใจในการอบรมมากกว่า 80 % และขอให้จัดอบรมเพิ่มเติมให้กับเกษตรกรกลุ่มที่เหลืออีกจำนวนมาก

วิรัตน์ (2555) ได้พัฒนาเครื่องหั่นชิ้นมันเส้น โดยมีหลักการทำงาน คือ ป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าสู่ส่วนทำความสะอาด ที่ใช้หลักการขัดสีของวัสดุกับผิววัตถุดิบในน้ำ เพื่อขัดผิวและล้างให้สะอาด แล้วลำเลียงส่งเข้าชุดใบมีดที่ใช้หลักการเฉือน และหั่นหัวมันให้ได้เป็นชิ้นมันเส้นสะอาด โดยใช้ต้นกำลังขับในเพลาเดียวกัน ทำให้ทุกส่วนทำงานต่อเนื่องพร้อมกัน ผลการทดสอบการทำงานที่ความเร็วรอบเพลาขับ 50 รอบต่อนาที เครื่องสามารถทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังจนไม่พบเห็นดินทรายปนเปื้อน โดยมีเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างหลังการทำความสะอาด 14.44 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการหั่นชิ้นมันเส้น 1,457.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการหั่นชิ้นมัน 85.6 เปอร์เซ็นต์ ในการหั่นหัวมันสำปะหลังมีชิ้นมันเส้นเต็ม และมีชิ้นแตกหักเท่ากับ 11.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วิรัตน์ (2552) ได้ทำการศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลัง โดยได้ออกแบบใบมีดหมุนสำหรับผลิตชิ้นมันเส้น ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เครื่องสามารถหั่นชิ้นมันเส้นได้ 1,457.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการตัดชิ้นมันเท่ากับ 85.60 เปอร์เซ็นต์ และในการหั่นมันสำปะหลังเส้นเต็ม 85.60 เปอร์เซ็นต์ และมีชิ้นแตกหัก 11.23 เปอร์เซ็นต์

วิรัตน์ (2547) ได้ทำการศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยก สำหรับผลิตชิ้นมันเส้นที่เป็นส่วนผสมของอาหารโคนม เครื่องสับจะประกอบไปด้วย ชุดทำความสะอาด ชุดใบมีดสับ และชุดทำความสะอาด ใช้หลักการขัดสี โดยใช้ตะแกรงหมุนสัมผัสกับผิวมันสำปะหลัง ชุดใบมีดมีมุมตัดเท่ากับ 70 องศา ตัดหัวแบบตามขวาง ผลการทดสอบพบว่า มีเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างหลังจากการทำความสะอาด 19.2 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการตัดชิ้นมันเท่ากับ 85.35 เปอร์เซ็นต์

ธวัชชัย และวิรัตน์ (2548) ได้สร้างเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยก สำหรับผลิตชิ้นมันเส้นให้สะอาด เพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารสำหรับโคนมนั้น เครื่องต้นแบบจะมีส่วนประกอบหลักๆ คือ ชุดทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง ที่มีลักษณะเป็นตะแกรงหมุน เพื่อแยกสิ่งเจือปน ชุดป้อนหัวมันเข้าสู่ชุดใบมีดสับ ชุดใบมีดสับสร้างขึ้น เพื่อให้เป็นรูปแบบการสับตามขวาง และตัดแยกชิ้นมันให้เป็นรูปทรงแท่งยาว มีช่วงคมมีดตัด 10 เซนติเมตร ผลการทดลองปรากฏว่า ตะแกรงชุดทำความสะอาดหัวมันหมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที ป้อนหัวมันสำปะหลังครั้งละ 50 กิโลกรัม ในเวลา 2 นาที เปลือกติดค้างหลังการทำความสะอาด 19.2 เปอร์เซ็นต์ ชุดใบมีดสับหัวมันมีสมรรถนะเฉลี่ย 598.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการสับชิ้นมัน 85.4 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นมันเต็ม 57.1 เปอร์เซ็นต์ และมีชิ้นมันที่แตกหัก 42.1 เปอร์เซ็นต์

ธีรพงศ์ (2549) ได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นตะไคร้แบบสไลซ์ ตัวเครื่องหั่นตะไคร้แบบสไลซ์นั้นประกอบไปด้วย โครงสร้างขนาดเท่ากับ 30x28x80 เซนติเมตร ชุดใบมีดประกอบด้วย (ชุดโครงสร้าง และส่วนประกอบที่สำคัญ) จานยึดใบมีดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร ติดใบมีดจำนวน 3 ใบ ใช้มอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า ติดใบมีดหมุนด้วยความเร็วรอบ

240 รอบต่อนาที และช่องป้อนตะไคร้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ส่วนประกอบที่สำคัญจะมีโครงสร้างรับน้ำหนักช่องป้อนตะไคร้ ชุดส่งกำลัง และชุดจานจับใบมีด

ธีรศักดิ์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาและออกแบบเครื่องสับต้นข้าวโพดให้เป็นอาหารสัตว์ ซึ่งมีหลักการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่นำต้นข้าวโพดเข้าสู่ตัวเรือน เมื่อชุดโครงมีดสับ ทำการสับต้นข้าวโพดแล้ว จะทำให้เกิดกระแสลมหมุนวนในตัวเรือน ส่วนที่สองโดยกระแสลมในตัวเรือน จะทำหน้าที่พ่นเศษต้นข้าวโพดที่ถูกสับแล้วออกทางช่องออก ส่วนที่สามโดยช่องทางออกจะออกแบบให้มีลักษณะกว้างกว่าช่องป้อน เพื่อให้ต้นข้าวโพดที่สับแล้วพ่นออกได้โดยสะดวก สามารถสับต้นข้าวโพดปริมาณ 50 กิโลกรัม ได้อัตราสับ 52.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สับได้สูงสุดครั้งละ 5 ต้น และต้นข้าวโพดที่สับได้มีขนาด 1-11/2 นิ้ว คิดเป็น 76 %

สญชัย เข็มเจริญ และคณะ (2560) ได้ออกแบบเครื่องหั่นซอยหอมแดง ที่แปรรูปหอมแดงเพื่อจำหน่าย เครื่องต้นแบบประกอบไปด้วย โครงสร้างเครื่อง ช่องใส่วัตถุดิบ ชุดส่งกำลัง ชุดจานหมุนใบมีด ช่องทางออกของวัตถุดิบ และระบบควบคุมการทำงาน โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้าเป็นเครื่องต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเป็นแบบจานหมุนใบมีดภายในถัง เพื่อหั่นซอยหัวหอมให้ได้ตามความต้องการ การทดสอบการทำงานพบว่า มุมคมตัดที่ 15 องศา ความเร็ว 350 รอบต่อนาที สามารถหั่นซอยหัวหอมแดงได้ 150 กิโลกรัมต่อวัน

ศุภศันส์ (2548) ทำการศึกษาอิทธิพลของจำนวนชุดใบมีด ความเร็วรอบใบมีด และความเร็วขับป้อน ที่มีผลต่อการสับชิ้นมันสำปะหลัง เพื่อการผลิตแป้งดิบ พบว่า ที่ความเร็วรอบใบมีด 1,000 รอบต่อนาที และความเร็วขับป้อน 68 รอบต่อนาที มีพลังงานการตัดจำเพาะต่ำที่สุด

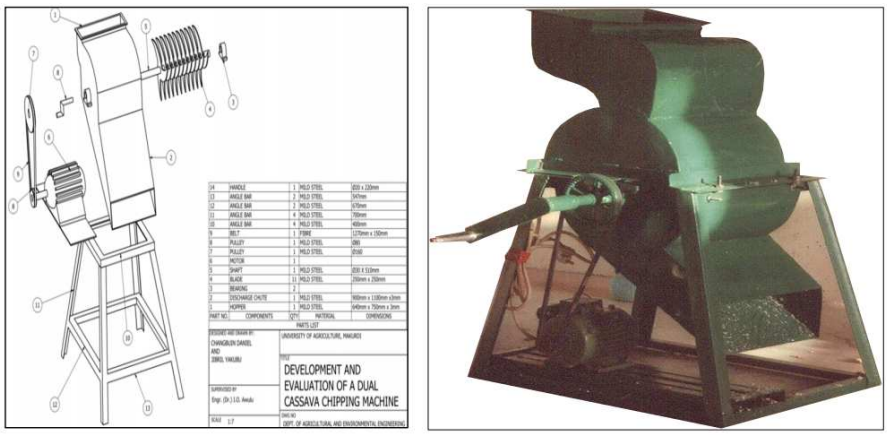
ศิราวุธ และคณะ (2533) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับย่อยใบอ้อย และวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเครื่องสับย่อยจะมีลักษณะการสับย่อยแบบใบมีดหมุนสับจำนวน 15 ใบ ปลายใบมีดมีลักษณะโค้งงอ จะมีความเร็วรอบในการสับเท่ากับ 2,416 รอบต่อนาที มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า วัสดุที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ ใบอ้อย ใบไม้ฟางข้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยได้ทำการศึกษาสมรรถนะการทำงาน และการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต จากการทดสอบพบว่า ใบอ้อยใบไม้ฟางข้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีสมรรถนะการผลิตเฉลี่ย 52.72, 69.90, 49.65 และ 88.34 kg./hr. ตามลำดับ โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.017, 0.007, 0.072 และ 0.005 kWh./kg.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2551) ได้พัฒนาเครื่องสับมันแบบจานนอน และเครื่องสับมันที่พัฒนาขึ้น สามารถสับมันเป็นแผ่น แต่ยังไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร ซึ่งถ้าเป็นลักษณะของมันเส้นที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับแบบจานรูของลานมันสำปะหลังทั่วไป จะมีลักษณะเป็นก้อนไม่สม่ำเสมอ โดยสมรรถนะการสับได้เท่ากับ 4.8 ตันต่อชั่วโมง และมีประสิทธิภาในการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 0.64 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์

Thanh et al. (1979) ได้ปรับปรุงจานตัดของเครื่องตัดแบบจานหมุน โดยดัดแปลงจานตัดแบบเดิมที่ทำให้ชิ้นมันมีขนาดไม่แน่นอน และมีขนาดใหญ่ ทำให้การตากใช้เวลานาน เนื่องจากต้องการให้ชิ้นมันมีขนาดเล็กลง และมีรูปแบบของชิ้นมันที่เป็นรูปแบบเดียวกันมากขึ้น ซึ่งหลังจากการออกแบบพบว่า สมรรถนะการตัดลดลงจาก 9-11 ตันต่อชั่วโมง เป็น 6-8 ตันต่อชั่วโมง โดยใช้มอเตอร์ขนาด 7.5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง แต่ขนาดชิ้นมันมีขนาดเป็นรูปแบบเดียวกันมากขึ้น และขนาดชิ้นเล็กลง โดยชิ้นมันมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 5×2.4×0.6 เซนติเมตร

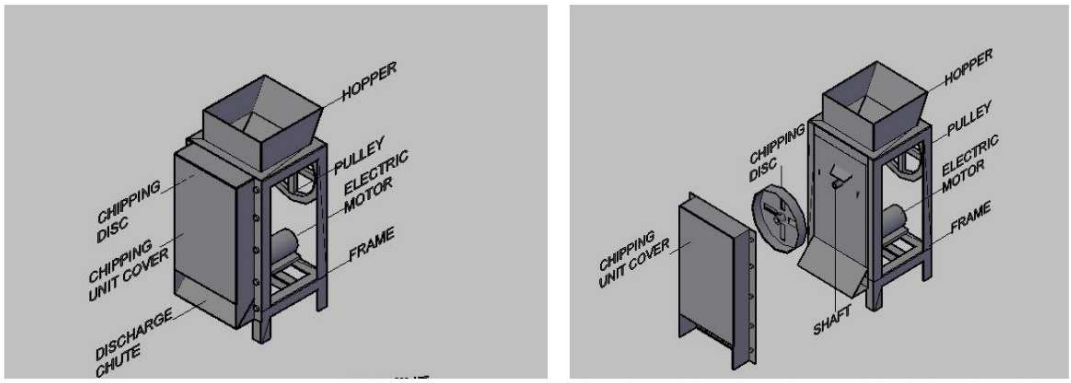
Visvanathan et al. (1996) ได้ศึกษาผลที่เกิดจากมุมเอียงของใบมีด และความเร็วในการตัด หัวมันสำปะหลังตามแนวแกน ตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวมันสำปะหลังที่ทำการศึกษาอยู่ในช่วง 37 ถึง 72 มิลลิเมตร และมีความชื้นอยู่ในช่วง 65-70 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) มุมที่ใช้ตัดหัวมันสำปะหลัง คือ 30, 45, 60, 75 และ 90 องศา และความเร็วรอบในการตัดที่ใช้ในการศึกษา คือ 1.81 2.68, 3.51 และ 4.90 เมตร/วินาที ผลที่ได้ คือ ความเร็วน้อยที่สุดที่สามารถตัดหัวมันสำปะหลังได้ คือ 2.5 เมตร/วินาที มุมตัดอยู่ระหว่าง 63-75 องศา และมุมใบมีดอยู่ระหว่าง 30-45 องศา

J.O. Awulu*,J. Audu and Y.M. Jibril Visvanathan et al., (2015) ได้มีการพัฒนาเครื่องตัดมันสำปะหลังด้วยตนเอง และประเมินสมรรถนะของเครื่อง โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ซึ่งช่วยในการอบแห้งมันเส้นได้อย่างรวดเร็ว เครื่องที่ได้พัฒนานี้ จะประกอบไปด้วย กะพ้อสำหรับใส่วัตถุดิบ, ใบสับ, เพลาส่งกำลัง, กล่องควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องสับเครื่องนี้จะใช้ความเร็วรอบระหว่าง 300-400 รอบต่อนาที ผลการทดลองพบว่า มีระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการใช้ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาดของชิ้นมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10-20 มิลลิเมตร สำหรับการทำงานด้วยมือหมุน โดยเครื่องทำงานจะมีค่าเฉลี่ยของชิ้นมันสำปะหลัง 20-50 มม. เมื่อความเร็วรอบในการทำงานเพิ่มขึ้นจาก 300-400 รอบต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานลดลงที่ 300 rpm. การทำงานด้วยมือหมุนเครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุด 86.7% และ 83.12% สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า โดยเครื่องมีกำลังป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องสับอยู่ที่ 209 กก./ชม. (ดังภาพที่ 2.63)



ภาพที่ 2.63 แสดงเครื่องตัดมันสำปะหลังของ J.O. Awulu และคณะ

Aji I. S., James E., Ejovwoke A. and Mshelia D. A., (2013) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องสับแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ต้นกำลังจากไฟฟ้า เพื่อหั่นหัวมันสำปะหลังขนาดความจุ 10 กิโลกรัมต่อนาที และความสม่ำเสมอของขนาดของชิ้นมันสำปะหลัง โดยมีสมรรถนะของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง โดยมีค่าเฉลี่ยของหัวมันสำปะหลังความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลาง 253 มม. และ 60 มม. ตามลำดับที่ความเร็วรอบของมีดสับเฉลี่ย 154 รอบต่อนาที สามารถสับหัวมันสำปะหลัง 5.3 กิโลกรัม ที่มีความยาว 10 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มม. ภายใน 1 นาที ประสิทธิภาพของเครื่องมีค่าเท่ากับ 95.6% สามารถนำไปใช้ในการผลิตมันสำปะหลังได้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (ดังภาพที่ 2.64)

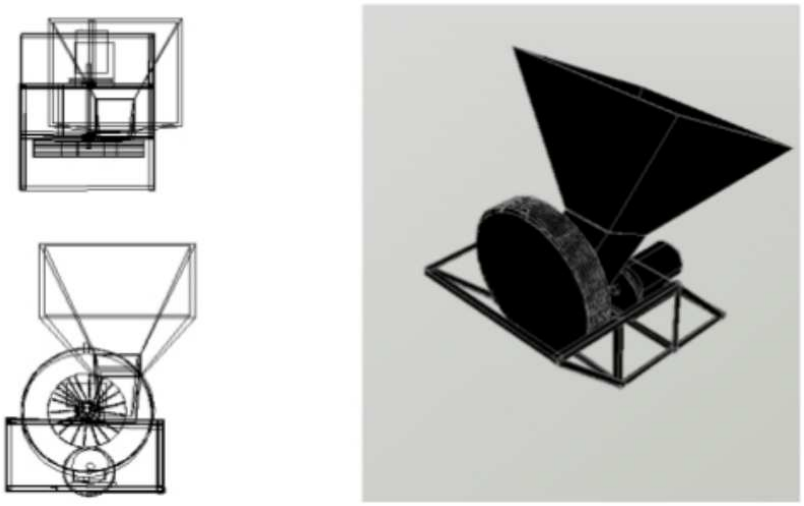


ภาพที่ 2.64 แสดงเครื่องสับหัวมันสำปะหลังของ Aji I. S. และคณะ

Agulanna C.N, Oriaku E.C, Nwannewuihe H.U, Onwukwe M.C, and Adiele I.D., (2015) ได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องตัดขึ้น มีการประเมินเครื่องตัดโดยการเปลี่ยนน้ำหนักของกลุ่มตัวอย่างที่ใส่เข้าไปในเครื่องตัด และจับเวลาในการป้อนหัวมันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่าโดยรวมมีค่าเฉลี่ย คือ 52 วินาที ขณะที่เวลาในการตัดเฉลี่ย 55 วินาที อัตราการป้อนเฉลี่ย 7.74 กิโลกรัมต่อนาที (464.4 กก./ชม.) โดยมีอัตราการตัดเฉลี่ยเท่ากับ 7.36 กิโลกรัมต่อนาที (441.71 กก. / ชม.) มีการสูญเสียเฉลี่ย 4.88% ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด และมีประสิทธิภาพในการสับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.81% (ดังภาพที่ 2.65)

ภาพที่ 2.65 แสดงเครื่องตัดมันสำปะหลังของ Agulanna C.N และคณะ

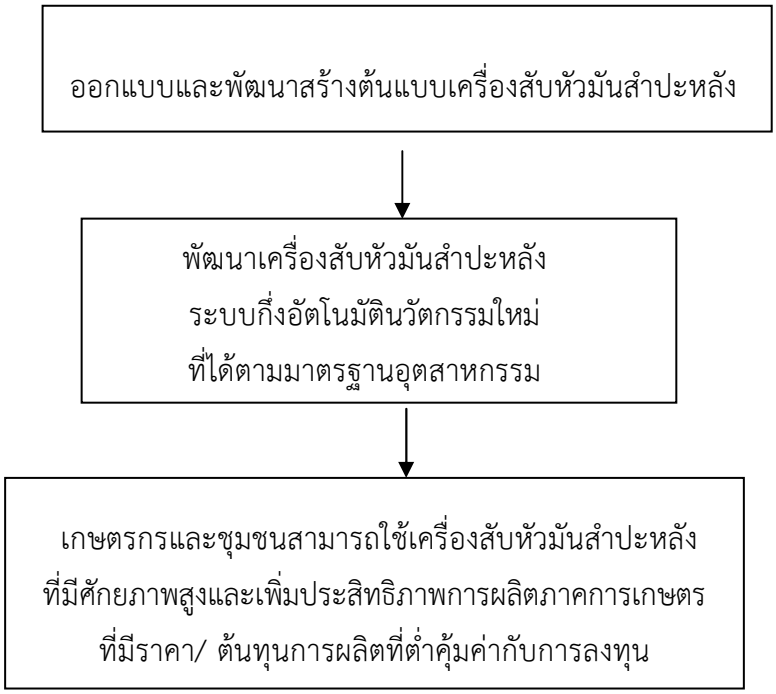
M.C.Ndukwua, D. Onyenwigwe (2013) ได้มีการพัฒนาและประเมินเครื่องต้นแบบเครื่องตัดหัวมันสำปะหลัง โดยเครื่องมีประสิทธิภาพในการหั่นหัวมันสำปะหลัง ที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 63.5% มีประสิทธิภาพในการตัดหัวมันสำปะหลัง 67.80% ถึง 72.2% ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที สามารถหั่นได้ประมาณ13.09 ถึง 27.02 กก. / ชม.ขณะที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที จะมีประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเท่ากับ 60% ถึง 75.2% และสามารถหั่นได้ประมาณ 11.37 ถึง 21.41 กก./ ชม. (ดังภาพที่ 2.66)



ภาพที่ 2.66 แสดงเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังของ M.C. Ndukwua. และคณะ

Etoamaihe U.J, Iwe M.O (2014) ได้มีการออกแบบ และประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหั่นย่อยมันสำปะหลังแบบกระบอกลูกสูบ จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า ขนาดต่างๆของรูพรุนที่หน้าจานของเครื่องหั่นย่อย จะมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหั่น ในการหั่นย่อยมันสำปะหลัง ผลการทดสอบเครื่องที่ออกแบบ จะมีประสิทธิภาพการทำงานประมาณ 92% เมื่อขนาดของรูที่หน้าจานมีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และความเร็วในการหั่นย่อย 975 รอบต่อนาที ความสามารถในการผลิตของเครื่องจะเพิ่มขึ้น ตามความเร็วรอบของการหั่นย่อย สามารถหั่นย่อยได้ค่าสูงสุดประมาณ 319.89 กก./ชม. ที่ 975 รอบต่อนาที และมีการหั่นย่อยได้ต่ำสุดประมาณ 301.54 กก. /ชม. ที่ความเร็วรอบของเครื่องเท่ากับ 325 รอบต่อนาที

2.11 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (ดังภาพที่ 2.67)



ภาพที่ 2.67 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาปรับปรุงเครื่องสับ, เพื่อประเมินประสิทธิภาพความสามารถในการทำงานของเครื่องสับ และเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาสร้างขึ้น ซึ่งจะมีรายละเอียดวิธีดำเนินงานการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

การศึกษาวิจัยด้านการออกแบบ และพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง เพื่อจะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้การออกแบบเครื่องเครื่องสับมันสำปะหลัง โดยผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าจากเอกสารปริญญานิพนธ์ด้านการออกแบบเครื่องสับ ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่จะนำมาสร้างเครื่องสับ โดยค้นคว้าศึกษางานวิจัยและพัฒนาเครื่องสับชนิดต่างๆ ตลอดจนเครื่องสับที่มีรูปแบบหลากหลายมากมาย ที่มีขายตามท้องตลาดนั้น ได้นำแนวคิดจากการสอบถามเกษตรกรที่ใช้เครื่องสับนั้น พบเจอปัญหาในการใช้เครื่องสับเพื่อสับหัวมันสำปะหลัง นำมาพัฒนาปรับปรุงส่วนต่างๆของเครื่องสับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการทำงานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง จากการศึกษาวิจัยด้านการออกแบบหลายๆด้าน ตลอดจนปัญหาต่างๆ และข้อกำจัดต่างๆ คณะผู้วิจัยจึงได้นำมาสรุปพิจารณากำหนดแนวทางการออกแบบเครื่องสับ คือ ทดสอบประเมินผลเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง เพื่อผลิตมันเส้นเป็นอาหารสัตว์ที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานก่อนการพัฒนาเครื่องต่อไป โดยจากการศึกษาปัญหาและเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานสำคัญเบื้องต้นที่จำเป็น เช่น อัตราการป้อน ความเร็วรอบของใบมีด ต้นกำลังพลังงานที่ใช้ และลักษณะของผลผลิตชิ้นมันเส้นที่ได้ ในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องสับมันหัวมันสำปะหลัง คณะผู้วิจัย มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1.1 ผู้ศึกษาวิจัยได้วิเคราะห์ปัญหา และกำหนดประเด็นในการที่จะทำการวิจัยและพัฒนาในเบื้องต้นส่วนที่จำเป็นต้องทำการพัฒนา คือ รูปแบบการป้อนวัตถุดิบจากวิธีเดิมๆของเกษตร ที่มีการป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องด้วยมือ ปรับปรุงพัฒนาเปลี่ยนเป็นระบบการป้อนด้วยระบบสายพานลำเลียง (Feed Belt) หัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแทนแบบเดิม ศึกษาข้อมูลทางกายภาพเกี่ยวกับหัวมันสำปะหลัง ได้แก่ ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง ความกว้าง และความสูง ของหัวมันสำปะหลัง เพื่อป้องกันการขัดตัวขณะทำการป้อนหัวมันสำปะหลัง จำนวนหัวและน้ำหนักทั้งหมดต่อครั้ง เพื่อออกแบบระบบลำเลียงของชุดลำเลียงแบบสายพาน เพื่อป้องกันการลื่นหลุดขณะป้อน และเครื่องมือที่มีการพัฒนาและใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ

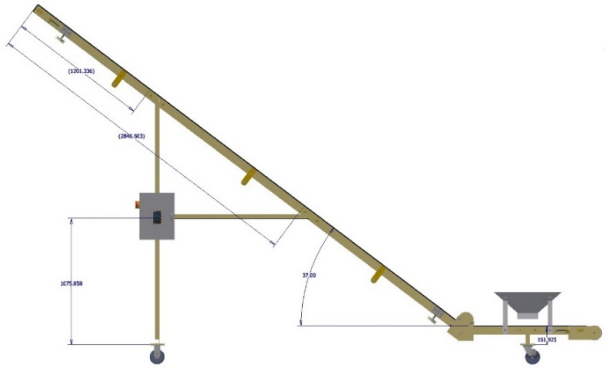
และข้อมูลการสับมันสำปะหลัง โดยใช้แรงงานคนตามวิธีปฏิบัติเดิม เพื่อใช้เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

3.1.2 ออกแบบกลไกต่างๆ และสร้างชุดทดสอบกลไกชิ้นส่วนต่างของการสับหัวมันสำปะหลัง เพื่อผลิตเป็นชิ้นมันเส้น โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบประกอบด้วย

3.1.2.1 เป็นกลไกที่เหมาะสมสำหรับการสับหัวมันสำปะหลัง เพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องลำเลียงหัวมันแบบสายพานได้เหมาะสม ซึ่งเป็นงานวิจัยที่อยู่ภายใต้กิจกรรมเดียวกัน เครื่องสับจะต้องมีน้ำหนักเบา ใช้งานง่าย เคลื่อนย้ายได้สะดวกโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียวทำได้

3.1.2.2 ใช้แรงงานคนในการทำงานเพียงคนเดียว หรือใช้ต้นกำลังที่มีขนาดเล็ก ที่มีราคาไม่แพงมากนัก เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อย

3.1.3 ดำเนินการออกแบบ และเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ชุดระบบสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลังขนาดกะทัดรัด ออกแบบให้มีโครงสร้างฐานที่แข็งแรง สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายได้สะดวกและสามารถใช้งานได้อเนกประสงค์ (ดังภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะสายพานลำเลียงที่เขียนแบบและออกแบบพัฒนาขึ้น

3.1.4 ดำเนินการสร้างชุดโครงสร้างของงระบบสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลัง ที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีขั้นตอนวิธีการดำเนินงานปฏิบัติ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.4.1 อ่านรายละเอียดของแบบงาน ตามแบบที่เขียนไว้

3.1.4.2 วางแผนดำเนินงานโดยจัดเตรียมซื้อวัสดุ จัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ ที่จะสร้างชุดระบบสายพานลำเลียง เช่น สายพานลำเลียง, เหล็ก, ลวดเชื่อมไฟฟ้า และอื่นๆ (ดังภาพที่ 3.2)

ภาพที่ 3.2 แสดงการจัดเตรียมซื้อวัสดุระบบสายพาน

3.1.4.3 ดำเนินการการตัดเหล็กฉากขนาด 3 นิ้ว ให้ได้ตามแบบและขึ้นรูปโครงสร้างฐาน

3.1.4.4 นำเหล็กฉากที่ตัดตามแบบด้วยเครื่องตัดไฟเบอร์ และนำแต่ละชิ้นที่ตัดมายึดเข้าด้วยกันตามแบบ โดยกรรมวิธีการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า ด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า (ดังภาพที่ 3.3)

ภาพที่ 3.3 แสดงการขึ้นรูปโครงสร้างตัวฐานเครื่องสายพานลำเลียง

3.1.4.5 ทำการกลึงขึ้นรูปลูกกลิ้งสายพานลำเลียงตัวบนและตัวล่าง ด้วยเครื่องกลึงโลหะให้ได้ขนาดตามแบบงานที่ได้ออกแบบไว้ (ดังภาพที่ 3.4)

ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะลูกกลิ้งสายพานลำเลียงที่ผ่านการกลึง

3.1.4.6 ติดตั้งประกอบลูกกลิ้งสายพานลำเลียงตัวบนและตัวล่าง เข้ากับโครงสร้างฐานของเครื่อง, ประกอบแผ่นประครองลูกกลิ้งตัวบนและตัวล่าง และใส่แบริ่งรองรับเพลาลูกกลิ้ง โดยใช้ประแจขันยึดสกรูทุกตัวให้แน่น (ดังภาพที่ 3.5)

ภาพที่ 3.5 แสดงการประกอบลูกกลิ้งสายพานลำเลียงตัวบนและตัวล่าง

3.1.4.7 ดำเนินการติดตั้งลูกกลิ้งสายพานลำเลียงโดยยึดเข้ากับฐานโครงสร้างของเครื่อง

3.1.4.8 ดำเนินการประกอบเชื่อมยึดประสานยึดสายพานเข้าด้วยกัน และก็นำติดตั้งสายพานลำเลียงขนาดหน้ากว้าง 14 นิ้ว ความยาว 3 เมตร และนำไปสวมประกอบเข้ากับลูกกลิ้งบนและลูกกลิ้งล่างของสายพาน (ดังภาพที่ 3.6)

ภาพที่ 3.6 แสดงลักษณะของสายพานลำเลียงที่ประกอบเข้ากับโครงสร้างฐานเครื่อง

3.1.4.9 ตัดโลหะแผ่นขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องชุดตัดแก๊สให้ได้ตามแบบ เพื่อนำมาเชื่อมยึดด้านข้างของสายพานลำเลียงทั้งสองข้าง คือด้านซ้าย และด้านขวา เป็นตัวช่วยกั้นไม่ให้หัวมันสำปะหลังที่ลำเลียงขึ้น ไปไม่ให้เกิดการตกหล่นลงสู่ด้านล่าง ขณะลำเลียงหัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง (ดังภาพที่ 3.7)

ภาพที่ 3.7 แสดงลักษณะการตัดโลหะแผ่นให้ได้ตามแบบ

3.1.4.10 ตกแต่งผิวโลหะด้วยหินเจียระไนมือ, ตกแต่งตามแนวเชื่อม ขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบ และเบอร์ละเอียดตามลำดับ

3.1.4.11 ดำเนินการเชื่อมยึดกะบะถังบรรจุหัวมันสำปะหลัง เข้ากับโครงสร้างฐานเครื่อง (ดังภาพที่ 3.8)

ภาพที่ 3.8 แสดงการยึดกะบะถังบรรจุหัวมันสำปะหลัง

3.1.4.12 ดำเนินการพ่นสีกันสนิมที่ตัวโครงสร้าง และทำการพ่นสีจริง

3.1.4.13 ประกอบแผ่นเพลท และล้อเหล็กขนาด 4 นิ้ว จำนวน 4 ล้อ (ดังภาพที่3.9)

ภาพที่ 3.9 แสดงการประกอบยึดล้อเหล็กเข้ากับโครงสร้างฐานเครื่องสายพานลำเลียง

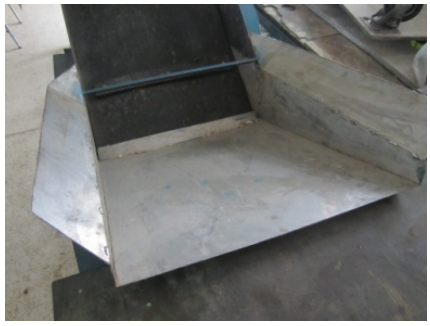
3.1.4.14 ประกอบติดตั้งชุดระบบส่งกำลัง เพลาขับสายพานลำเลียง (ดังภาพที่ 3.10)

ภาพที่ 3.10 แสดงลักษณะระบบส่งกำลังและเพลาขับสายพานลำเลียง

3.1.4.15 ประกอบติดตั้งแขนปรับตั้งระยะ และชุดปรับความตึงของระบบสายพาน โดยสามารถใช้ประแจขันสกรู ปรับความตึงและการหย่อนของระบบสายพานลำเลียง (ดังภาพที่ 3.11)

ภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะของชุดปรับความตึง-หย่อนของระบบสายพาน

3.1.4.16 ใช้กรรไกรตัดโลหะแผ่นสแตนเลสให้ได้ตามแบบ นำมาพับขึ้นรูปตามแบบ แล้วนำไปติดตั้งกระพ้อยึดด้วยสกรูเพื่อเป็นที่ถาดพักรองรับหัวมันสำปะหลังก่อนลำเลียง (ดังภาพที่ 3.12)



ภาพที่ 3.12 แสดงลักษณะถาดพักรองรับวัตถุดิบหัวมันสำปะหลัง

3.1.4.17 ประกอบติดตั้งพูลเล่ย์ของชุดระบบส่งกำลัง โดยสวมเข้ากับเพลายึดด้วยลิ่มให้แน่น ใส่สายพานระหว่างพูลเล่ย์มอเตอร์ และพูลเล่ย์ของระบบขับสายพานลำเลียง (ดังภาพที่ 3.13)

ภาพที่ 3.13 แสดงการติดตั้งพูลเล่ย์ชุดระบบส่งกำลังเข้ากับเพลา

3.1.4.18 ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ แรงม้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 V. เข้ากับฐานของเครื่อง และใช้ประแจขันยึดสกรูทุกตัวให้แน่น (ดังภาพที่ 3.14)

ภาพที่ 3.14 แสดงการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ายึดเข้ากับฐานของเครื่อง

3.1.4.18 ติดตั้งการ์ดฝาครอบพูลเล่ย์ ของระบบส่งกำลังชุดสายพานลำเลียง

3.1.4.19 ติดตั้งกล่องและเดินระบบสายไฟฟ้า ควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียง

3.1.4.20 ปรับตั้งระยะความตึงของระบบสายพาน และหยอดน้ำมันชุดเพลาแบริ่งต่างๆ ทดสอบการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่อง และทดลองระบบการทำงานต่างๆ (ดังภาพที่ 3.15)

ภาพที่ 3.15 แสดงเครื่องชุดสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลังต้นแบบที่พัฒนาสร้างขึ้น

3.1.5 ดำเนินการออกแบบและเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง

3.1.6 ดำเนินการสร้าง โครงสร้างของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง โดยมีกระบวนการขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.6.1 ดำเนินการสร้าง โดยอ่านแบบตามแบบงานที่เขียนไว้

3.1.6.2 วางแผน จัดเตรียมซื้อวัสดุ และเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์

3.1.6.3 ทำการตัดเหล็กฉากขนาด 3 นิ้ว ให้ได้ตามแบบ เพื่อขึ้นรูปโครงสร้างฐาน

3.1.6.4 นำเหล็กฉากที่ตัดตามแบบ นำมาเชื่อมไฟฟ้าประกอบยึดเข้าประกอบด้วยกัน

3.1.6.5 ขีดร่างแบบงานที่โลหะแผ่น ตามที่ได้ออกแบบไว้ นำมาตัดด้วยกรรไกรตัดโลหะแผ่นด้วยให้ได้ตามแบบงาน เสร็จแล้วนำมาพับขึ้นรูปโดยเครื่องพับโลหะแผ่น ให้ได้ถังพักตามแบบ (Hopper) ดังนั้นถังพักจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ เพื่อทำหน้าที่รองรับหัวมันสำปะหลัง และทำการลำเลียงเข้าเครื่องสับในลำดับต่อไป

3.1.6.6 นำถังบรรจุพักหัวมันสำปะหลังที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำมาเชื่อมยึดเข้ากับโครงสร้างฐานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง (ดังภาพที่ 3.16)

ภาพที่ 3.16 แสดงกะพ้อถังบรรจุหัวมันสำปะหลังของเครื่องสับ

3.1.6.7 ศึกษาวิจัย ดำเนินการพัฒนา เขียนแบบและออกแบบสร้างชุดหัวของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ซึ่งจะประกอบไปด้วย แกนเพลาขับ หน้าจานยึดใบมีดสับ และใบมีดสับที่ยึดแผ่นจานมีจำนวน 2 ใบมีดเป็นหลัก มีขนาดความกว้างของมีดสับ 88 มิลลิเมตร มีขนาดความยาวของใบมีดสับ 180 มิลลิเมตร มีขนาดความหนาของใบมีดสับ 2.70 มิลลิเมตร วัสดุที่ทำใบมีดสับ จะเป็นเหล็กกล้าทำเครื่องมือ คือ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.5 - 1.5% มีความแข็ง, ความแข็งแรง และความเค้น- แรงดึงสูง เมื่อชุบแข็งแล้วจะเปราะเหมาะสำหรับงานที่ทนต่อการสึกหรอ และที่ตัวมีดได้ทำการเจาะรูไว้สำหรับยึดใบมีดสับ ยึดติดกับหน้าจานของชุดหัวสับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 15 มิลลิเมตร จำนวน 3 รู โดยจะยึดติดกับจานยึด

ใบมีดสับ ด้วยสลักเกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร โดยจะยึดทั้งสองด้าน เพื่อให้มีความแข็งแรงในการสับหัวมันสำปะหลัง (ดังภาพที่ 3.17)

ภาพที่ 3.17 แสดงลักษณะใบมีดของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง

3.1.6.8 ตกแต่งผิวชิ้นงานด้วยหินเจียระไน โดยตกแต่งผิวแนวเชื่อมให้เรียบ และดำเนินการขัดด้วยกระดาษทรายหยาบ กระดาษละเอียดให้ผิวเรียบ

3.1.6.9 ผสมสี พ่นสีกันสนิม ส่วนที่เป็นโครงสร้างฐานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง และทำการพ่นส่วนอื่นๆ เมื่อพ่นสีกันสนิมเสร็จแล้ว ให้ดำเนินการพ่นสีจริงต่อไป (ดังภาพที่ 3.18)

ภาพที่ 3.18 แสดงการตกแต่งผิวชิ้นงานและพ่นสีจริง

3.1.6.10 ติดตั้งประกอบพูลเล่ย์สวมยึดเข้ากับเพลาส่งกำลังยึดด้วยลิ่ม และใส่สายพานระหว่างพูลเล่ย์มอเตอร์ และพูลเล่ย์ของระบบเพลาขับมีดสับหัวมันสำปะหลัง (ดังภาพที่ 3.19)

ภาพที่ 3.19 แสดงการติดตั้งประกอบพูลเล่ย์ยึดกับเพลา

3.1.6.11 ติดตั้งยึดล้อเหล็กขนาด 4 นิ้ว จำนวน 4 ล้อยึดเข้าโครงสร้างของฐานของเครื่องสับมันสำปะหลัง ล้อเหล็กจะมีหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายเครื่องไปมาได้ง่าย (ดังภาพที่ 3.20)

ภาพที่ 3.20 แสดงการติดตั้งล้อเหล็กที่โครงสร้างฐานของเครื่องสับ

3.1.6.12 ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังขนาด 3 แรงม้า แรงเคลื่อน 220 V. ยึดเข้ากับฐานของเครื่องสับ โดยใช้ประแจขันยึดสกรูทุกตัวให้แน่น (ดังภาพที่ 3.21)

ภาพที่ 3.21 แสดงการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ายึดเข้ากับฐานของเครื่อง

3.1.6.12 ติดตั้งตู้ควบคุมการทำงานเข้ากับโครงสร้างฐาน และเดินระบบสายไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง

3.1.6.13 ปรับตั้งระยะความตึง-หย่อนของระบบสายพานของเครื่องสับ และหยอดน้ำมันชุดเพลาแบริ่งต่างๆ ทดสอบการเปิด-ปิดเครื่อง และระบบการทำงานส่วนต่างๆ (ดังภาพที่ 3.22)

ภาพที่ 3.22 แสดงรูปร่างลักษณะของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังต้นแบบที่พัฒนาสร้างขึ้น

หลังจากคณะผู้ศึกษาวิจัยพัฒนาสร้างต้นแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น จะดำเนินการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังในห้องปฏิบัติการ และมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนต่างๆ ของเครื่องสับ พัฒนาจนได้เครื่องต้นแบบที่เหมาะสมที่สุด พร้อมที่จะดำเนินการ เพื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติต่อไป

3.2 การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

ภายหลังดำเนินการออกแบบพัฒนาเครื่องเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว ได้ทดสอบสมรรถนะประสิทธิภาพของเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติโดยหาความสามารถในการทำงานของเครื่องสับมันสำปะหลังระบบกึ่งอัตโนมัติ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การประเมินผลความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลังจากเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น ดำเนินการทดสอบกลไกต่าง ๆ และชุดทดสอบ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบ เครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ในขั้นตอนการประเมินผลความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลังจากเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสามารถในการทำงานของเครื่องในการสับหัวมันสำปะหลัง จากเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น การทดสอบเครื่องสับมันสำปะหลังการศึกษาในขั้นตอนนี้ จะประเมินผลและศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง โดยได้มีการวางแผนการทดสอบความเร็วรอบของใบมีดสับจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ความเร็วรอบของเครื่องสับที่เหมาะสมที่สามารถทำการสับมันสำปะหลังได้อย่างต่อเนื่องอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 300 - 400 รอบต่อนาที โดยไม่ทำให้ชิ้นมันที่สับได้ละเอียด หรือมีขนาดใหญ่เกินไปมากนัก ดังนั้นผู้ศึกษาวิจัย จึงได้กำหนดระดับความเร็วรอบในการสับไว้ที่ 3 ระดับ ได้แก่ 300, 350 และ 400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ทดสอบ ได้แก่

1) เครื่องสับมันสำหลังที่ออกแบบและพัฒนาสร้างขึ้น
2) ชุดสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลังที่พัฒนาสร้างขึ้น
3) เครื่องชั่งน้ำหนัก
4) นาฬิกาจับเวลา
5) เครื่องวัดความเร็วรอบของเครื่อง
6) เวอร์เนียคาลิปเปอร์
7) หัวมันสำปะหลังสด

3.2.1.2 วิธีการทดสอบหาความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลัง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ เพื่อหาความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลัง วิธีการทดสอบ การทดลองจึงได้กำหนดขั้นตอนวิธีปฏิบัติดังต่อไปนี้

1) เตรียมเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ และวัตถุดิบ เช่น หัวมันสำปะหลัง และเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ (ดังภาพที่ 3.23)

ภาพที่ 3.23 แสดงการเตรียมอุปกรณ์เครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่พร้อมทดสอบ

2) วัดความเร็วรอบของพูลเล่ย์ และความเร็วรอบของหัวสับมันสำปะหลัง

3) นำหัวมันสำปะหลังที่เตรียมไว้ เพื่อทำการทดสอบนำมาชั่งหาน้ำหนักก่อนลำเลียงเข้าเครื่องสับ และบันทึกผลการทดลอง (ดังภาพที่ 3.24)

ภาพที่ 3.24 แสดงการชั่งน้ำหนักหัวมันสำปะหลังก่อนเข้าเครื่องลำเลียง

4) นำหัวมันสำปะหลังที่ถูกชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก เทลงในกะบะรองรับหัวมันสำปะหลังของชุดเครื่องสายพานลำเลียงพร้อมทำงาน (ดังภาพที่ 3.25)

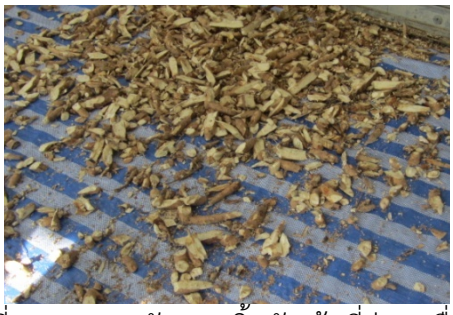
ภาพที่ 3.25 แสดงการนำหัวมันสำปะหลังที่ผ่านการชั่งเข้าเครื่องสายพานลำเลียง

5) เปิดสวิตซ์เครื่องที่สายพานลำเลียง และสวิตซ์เครื่องสับหัวมันสำปะหลังให้เครื่องทำงานพร้อมกัน

6) เริ่มจับเวลาในการสับหัวมันสำปะหลังการป้อนหัวมันสำปะหลังคงที่ จะเป็นแบบระบบสายพานลำเลียงเข้าเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง และบันทึกผลการทดลอง (ดังภาพที่ 3.26)

ภาพที่ 3.26 แสดงเครื่องสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องสับ

7) ให้นำภาชนะมารองรับชิ้นมันสำปะหลังเส้น ที่ผ่านกระบวนการสับด้วยเครื่องเสร็จแล้วจะได้ชิ้นมันเส้น และนำชิ้นมันเส้นใส่เข่ง (ดังภาพที่ 3.27)



ภาพที่ 3.27 แสดงลักษณะชิ้นมันเส้นที่ผ่านเครื่องสับ

8) ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นมันเส้นที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับ และบันทึกผลการทดลอง

9) ทำการทดสอบดังข้างต้นอีกครั้ง แต่เปลี่ยนกลุ่มน้ำหนักของหัวมันสำปะหลัง และความเร็วรอบของเครื่องสับมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบต่างกัน จนครบตามที่กำหนดไว้

10) บันทึกผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ ความสามารถในการทำงานของเครื่องสับมันหัวมันสำปะหลัง โดยจะวัดจากน้ำหนักของชิ้นมันเส้นที่ถูกสับได้ เมื่อเทียบกับช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสับ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ทั้งนี้โดยกำหนดอัตราการป้อนหัวมันสำปะหลังไว้คงที่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง ค่าชี้ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลัง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และประสิทธิภาพในการสับ (เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

ความสามารถในการสับ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) = $\frac{\text{น้ำหนักของชิ้นมันสำปะหลังที่สับได้}}{\text{เวลาที่ใช้ในการสับหัวมันสำปะหลัง}} \times 100$

ประสิทธิภาพในการสับ (เปอร์เซ็นต์) = $\frac{\text{น้ำหนักของชิ้นมันสำปะหลังหลังการสับ}}{\text{น้ำหนักของหัวมันสำปะหลังก่อนสับ}} \times 100$

11) การทดสอบประเมินผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการประเมินผลทดสอบขั้นตอนสุดท้ายโดยในแต่ละการทดสอบ จะพิจารณาค่าชี้ผลสมรรถนะแตกต่างกันไป แต่โดยรวมมีค่าชี้ผลสมรรถนะของเครื่องต้นแบบที่ออกแบบและพัฒนาสร้างขึ้น ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

ข) ประสิทธิภาพในการสับ (เปอร์เซ็นต์)

3.3 วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ออกแบบพัฒนาสร้างขึ้นจากคณะผู้วิจัย โดยได้จากศึกษาจากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติต้นแบบที่พัฒนาสร้างขึ้น ดังนั้นการประเมินผลวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ สามารถที่จะวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยมีรายละเอียด และเงื่อนไขต่างๆ ของวิธีการคำนวณ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break - even point) เป็นการคำนวณเปรียบเทียบการโดยการใช้แรงงานคนในการสับหัวมันสำปะหลังสด เพื่อ

นำมาเปรียบเทียบกับเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาสร้างขึ้น จะสามารถใช้ต้นทุนในการทำงานเท่ากับต้นทุนของการสับหัวมันสำปะหลัง โดยใช้แรงงานคนที่ปริมาณในการสับเท่าไร ในระยะเวลา 1 ปี

3.3.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period, PBP) เป็นการคะเนว่าระยะเวลาจากการเริ่มต้นลงทุน (เงินลงทุน) ถึงเวลาที่มีผลประโยชน์สุทธิ (Net Benefits) ของการใช้เครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ มีค่าเท่ากับการลงทุน และทำการคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนต่อการทำงานของสับหัวมันสำปะหลังต่อปีของการใช้เครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่ได้ออกแบบ และพัฒนาสร้างขึ้น

ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด สำหรับการคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกลเกษตร สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$D_P = \frac{(P - S)}{L} \tag{3.1}$$

เมื่อกำหนดให้

D_P = ค่าเสื่อมราคา (บาทต่อปี)

P = ราคาซื้อเครื่อง (บาท)

S = ราคาขาย หรือค่าคงเหลือเมื่อเครื่องหมดอายุ (บาท)

L = อายุการปฏิบัติงานของเครื่องจักรกล (ปี)

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา = (ราคาเครื่อง/2) x (เปอร์เซ็นต์ดอกเบี้ย/10) (3.2)

ค่าดอกเบี้ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = ราคาเครื่อง + มูลค่าซาก x ค่าดอกเบี้ย (3.3)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ปีที่ทำให้รายจ่ายเท่ากับรายรับหรือเวลาที่กำไรเท่ากับเงินลงทุนครั้งแรก ซึ่งคำนวณหาค่าได้ดังต่อไปนี้

$$O = \frac{P_e}{R_t} \tag{3.4}$$

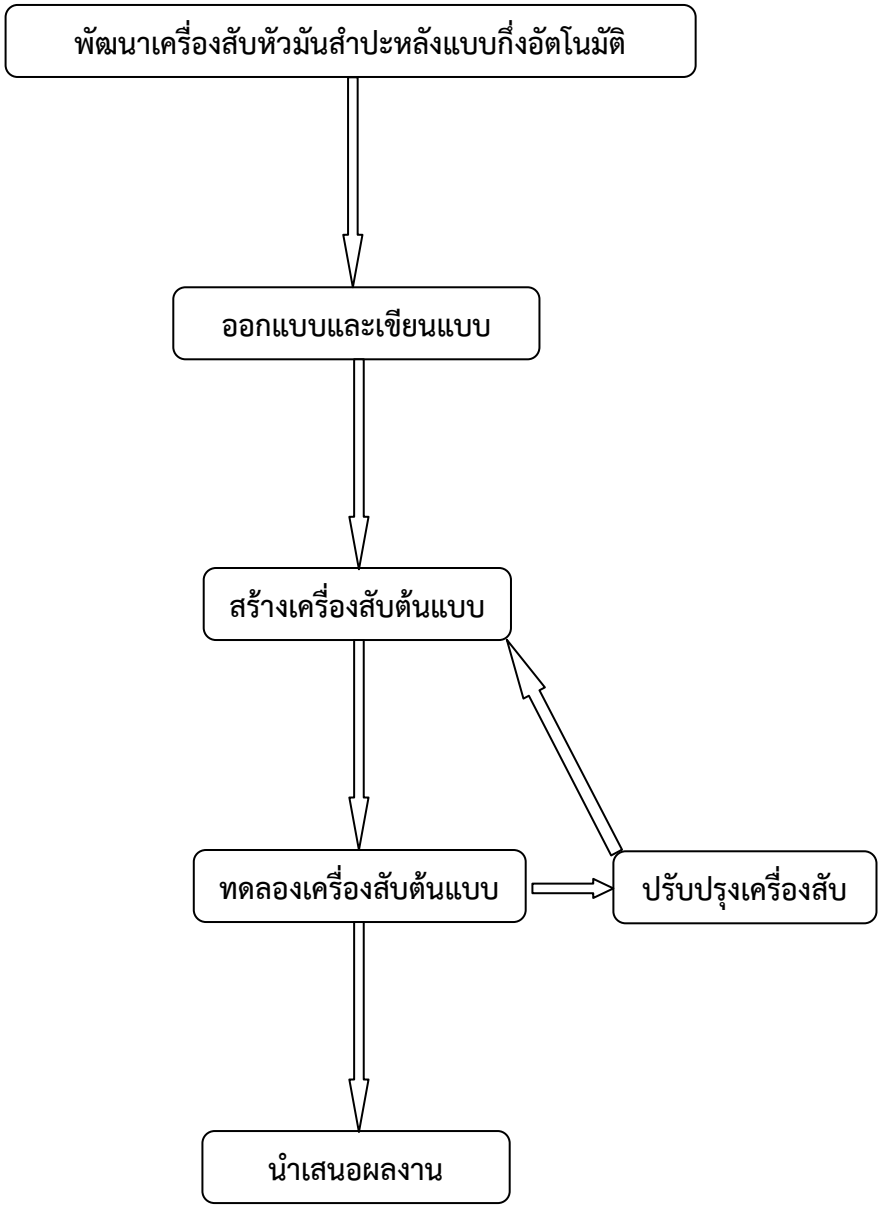
เมื่อกำหนดให้

O = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

P_e = เงินลงทุนครั้งแรก (บาท)

R_t = กำไร (บาทต่อปี)

3.4 แผนการดำเนินงานศึกษาวิจัย (ดังภาพที่ 3.28)



ภาพที่ 3.28 แผนการดำเนินงานศึกษาวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

จากการดำเนินการวิจัย ตามขั้นตอนวิธีการศึกษาวิจัย โดยได้มีการออกแบบ และพัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งสรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 พัฒนามีดสับหัวมันสำปะหลังโดยใช้วัสดุจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูง มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.1.2 พัฒนาระบบการลำเลียงหัวมันสำปะหลังจากป้อนลำเลียงด้วยมือ ให้เป็นแบบใช้ระบบสายพานลำเลียง (Feed Belt)

4.1.3 พัฒนาระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า โดยนำระบบอินเวอร์เตอร์มาใช้ในการควบคุมการทำงานความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อประหยัดพลังงาน

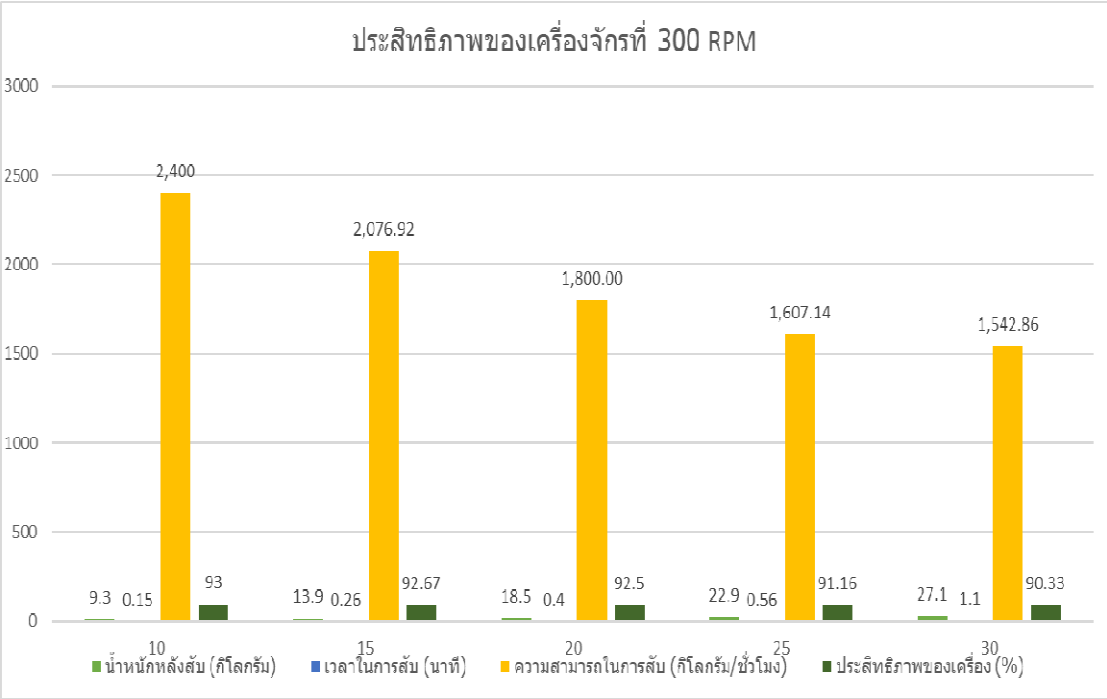
4.2. ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ ความสามารถการทำงานของเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

4.2.1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับเท่ากับ 300 รอบต่อนาที (ดังตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสับ ที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	**น้ำหนักก่อนสับ (กิโลกรัม)**	**น้ำหนักหลังสับ (กิโลกรัม)**	**เวลาในการสับ (นาที)**	**ความสามารถในการสับ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)**	**ประสิทธิภาพของเครื่อง (เปอร์เซ็นต์)**
300	10	9.30	0.15	2,400.00	93.00
	15	13.90	0.26	2,076.92	92.67
	20	18.50	0.40	1,800.00	92.50
	25	22.90	0.56	1,607.14	91.16
	30	27.10	1.10	1,542.86	90.33
ค่าเฉลี่ย				**1,885.38**	**91.93**

จากผลการทดสอบเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ได้จากตางรางที่ 4.1 เมื่อนำมาเขียนเป็นภาพกราฟแท่ง จะได้รายละเอียดดังนี้ (ดังภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที

จากผลการทดสอบ (ดังภาพที่4.1) พบว่าที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ในการสับหัวมันสำปะหลัง เครื่องสับหัวมันสำปะหลัง มีความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลังเป็นชิ้นมันเส้น โดยทดสอบสับหัวมันสำปะหลังที่ป้อนเข้าเครื่องแต่ละครั้ง ทดสอบจำนวน 5 ครั้ง โดยครั้งละ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม, 20 กิโลกรัม, 25 กิโลกรัม, และ 30 กิโลกรัม ตามลำดับ จำนวนน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังที่สับรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาในการสับหัวมันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.45 นาที โดยที่เครื่องมีความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,885.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.93 เปอร์เซ็นต์ และมีการเกิดการสูญเสียในระหว่างการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้น โดยจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.85 กิโลกรัม

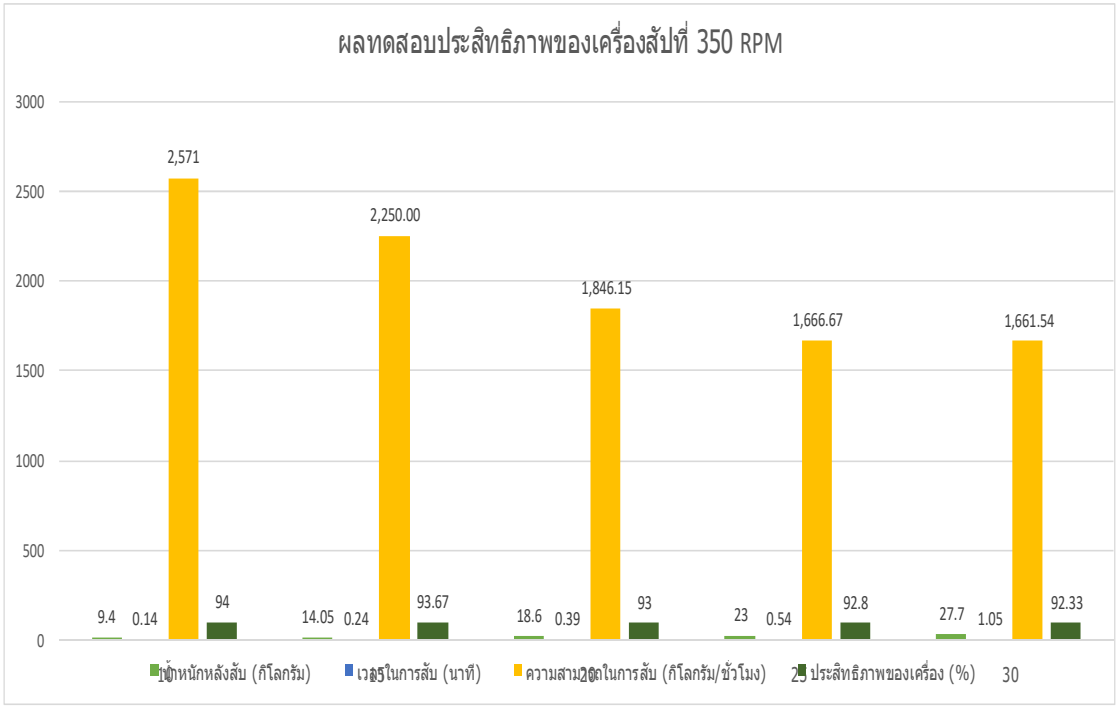
ดังนั้นจะสรุปผลการทดสอบได้ว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ 300 รอบ/นาที จะได้อัตราการผลิตอยู่ที่ 1,885.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังเท่ากับ 91.93 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการสูญเสียในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 7.85 กิโลกรัม จากผลการทดสอบสับหัวมันสำปะหลังน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาเฉลี่ยในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้น เท่ากับ 3.45 นาที

4.2.2 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับเท่ากับ 350 รอบต่อนาที (ดังตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสับ ที่ความเร็วรอบ 350 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	น้ำหนักก่อนสับ (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลังสับ (กิโลกรัม)	เวลาในการสับ (นาที)	ความสามารถในการสับ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ประสิทธิภาพของเครื่อง (เปอร์เซ็นต์)
350	10	9.40	0.14	2,571.43	94.00
	15	14.05	0.24	2,250.00	93.67
	20	18.60	0.39	1,846.15	93.00
	25	23.00	0.54	1,666.67	92.80
	30	27.70	1.05	1,661.54	92.33
ค่าเฉลี่ย				**1,999.16**	**93.16**

จากผลการทดสอบเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ได้จากตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาเขียนเป็นภาพกราฟแท่ง จะได้รายละเอียดดังนี้ (ดังภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบ 350 รอบต่อนาที

จากผลการทดสอบ (ดังภาพที่ 4.2) พบว่าที่ความเร็วรอบ 350 รอบต่อนาที ในการสับหัวมันสำปะหลัง เครื่องสับหัวมันสำปะหลัง จะมีความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้น

โดยทดสอบสับหัวมันสำปะหลังที่ป้อนเข้าเครื่องแต่ละครั้ง ทดสอบจำนวน 5 ครั้ง โดยครั้งละ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม, 20 กิโลกรัม, 25 กิโลกรัม, และ 30 กิโลกรัม ตามลำดับ จำนวนน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาในการสับหัวมันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.27 นาที โดยที่เครื่องสับมีความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,999.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.16 เปอร์เซ็นต์ และมีการเกิดการสูญเสียในระหว่างการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.25 กิโลกรัม

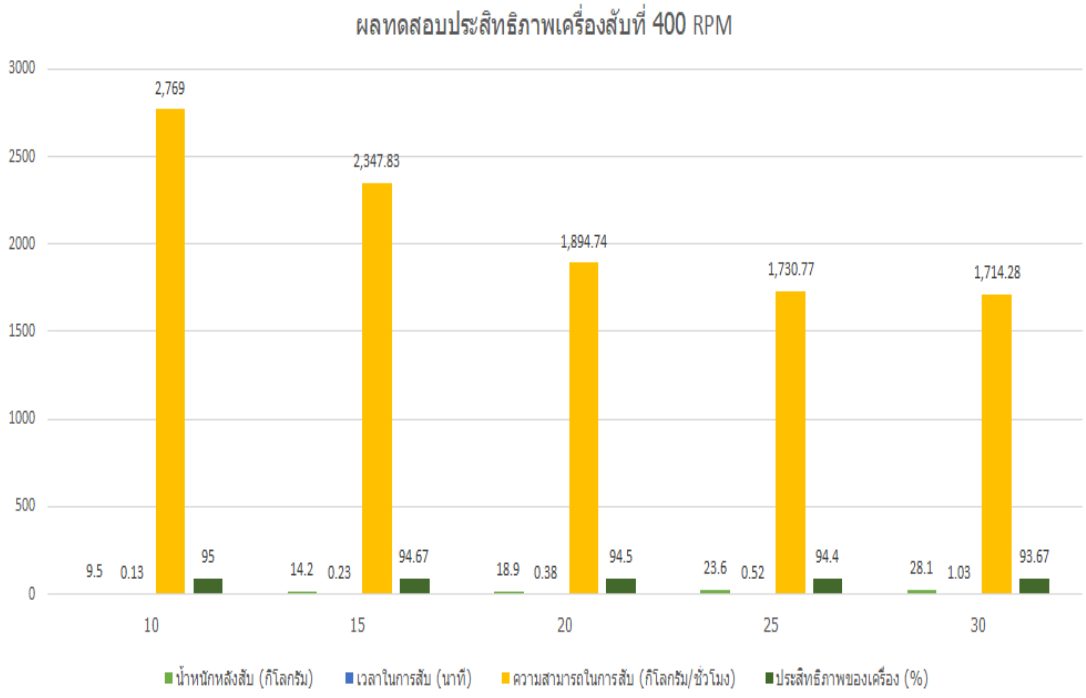
ดังนั้นจะสรุปผลการทดสอบได้ว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ 350 รอบ/นาที จะได้อัตราการผลิตอยู่ที่ 1,999.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังเท่ากับ 93.16 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการสูญเสียในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 7.25 กิโลกรัม จากผลการทดสอบสับหัวมันสำปะหลังน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาเฉลี่ยในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 3.27 นาที

4.2.2 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับเท่ากับ 350 รอบต่อนาที (ดังตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสับ ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	**น้ำหนักก่อนสับ (กิโลกรัม)**	**น้ำหนักหลังสับ (กิโลกรัม)**	**เวลาในการสับ (นาที)**	**ความสามารถในการสับ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)**	**ประสิทธิภาพของเครื่อง (เปอร์เซ็นต์)**
400	10	9.50	0.13	2,769.23	95.00
	15	14.20	0.23	2,347.83	94.67
	20	18.90	0.38	1,894.74	94.50
	25	23.60	0.52	1,730.77	94.40
	30	28.10	1.03	1,714.28	93.67
ค่าเฉลี่ย				**2,091.37**	**94.45**

จากผลการทดสอบเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ได้จากตางรางที่ 4.3 เมื่อนำมาเขียนเป็นภาพกราฟแท่ง จะได้รายละเอียดดังนี้ (ดังภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที

จากผลการทดสอบ (ดังภาพที่ 4.3) พบว่าที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที ในการสับหัวมันสำปะหลัง เครื่องสับหัวมันสำปะหลังมีความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลังเป็นชิ้นมันเส้น โดยทดสอบสับหัวมันสำปะหลังที่ป้อนเข้าเครื่องแต่ละครั้ง ทดสอบจำนวน 5 ครั้ง โดยครั้งละ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม, 20 กิโลกรัม, 25 กิโลกรัม, และ 30 กิโลกรัม ตามลำดับ จำนวนน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาในการสับหัวมันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.15 นาที โดยที่เครื่องสับมีความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,091.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.45 เปอร์เซ็นต์ และมีการเกิดการสูญเสียในระหว่างการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.70 กิโลกรัม

ดังนั้นจะสรุปผลการทดสอบได้ว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ 400 รอบ/นาที จะได้อัตราการผลิตอยู่ที่ 2,091.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังเท่ากับ 94.45 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการสูญเสียในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 5.70 กิโลกรัม จากผลการทดสอบสับหัวมันสำปะหลังรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาเฉลี่ยในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 3.15 นาที

4.3. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาสร้างขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น พบว่าข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการพัฒนาออกแบบสร้างเครื่องสับมันสำปะหลังระบบกึ่งอัตโนมัติต้นแบบที่สร้างขึ้นนั้น สามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยมีรายละเอียด และเงื่อนไขต่างๆ ของการคำนวณดังต่อไปนี้

กำหนดให้ราคาของมอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังขนาด 3 แรงม้า (2.24 กิโลวัตต์) เท่ากับ 10,000 บาท เครื่องสับมันสำปะหลัง และสายพานลำเลียงหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติราคา 120,000 บาท รวมราคาพัฒนาสร้างเครื่องต้นแบบทั้งหมด 130,000 บาท โดยมีอายุการใช้งานเครื่องสับ 10 ปี

4.3.1 ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของมอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง

ราคามอเตอร์, P	= 10,000 บาท
ราคาซาก, S	= 30 % ของ P บาท
อายุการใช้งาน, N	= 10 ปี
อัตราดอกเบี้ย, i	= 7.5 เปอร์เซ็นต์/ปี
ค่าไฟฟ้า	= 3.59 (สิงหาคม2561) บาท/หน่วย
อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าสูงสุด	= 8.04 บาท/ชั่วโมง
	= 4.14 บาท/ตัน

4.3.2 ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องสับมันสำปะหลัง

ราคา, P1	= 120,000 บาท
ราคาซาก, S1	= 10 % ของ P บาท
อายุการใช้งาน, N1	= 10 ปี
อัตราดอกเบี้ย, I	= 7.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี
ค่าบำรุงรักษา	= 0.5 % ของ P1 ต่อ 100 ชั่วโมง (บาทต่อชั่วโมง)
ความสามารถการทำงาน	= 2.09 ตันต่อชั่วโมง (400 rpm.)
จำนวนการทำงานต่อปี	= A ตัน

4.3.3 การคำนวณต้นทุนต่อปีของมอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง

ราคามอเตอร์	= 10,000 บาท

โดยคำนวณหาค่าต้นทุนคงที่ และค่าต้นทุนผันแปร มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

ก) ค่าต้นทุนคงที่

ค่าเสื่อมราคา (แบบเส้นตรง)	= 700 บาทต่อปี

ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน = 487.5 บาทต่อปี
รวมต้นทุนคงที่ = 1,187.5 บาทต่อปี

ข) ค่าต้นทุนผันแปร
ค่าไฟฟ้า = 8.04 บาทต่อชั่วโมง
ค่าบำรุงรักษามอเตอร์และตู้ควบคุม = 2.00 บาทต่อชั่วโมง
รวมต้นทุนผันแปร = 10.04 บาทต่อชั่วโมง
= 5.17 บาทต่อตัน

4.3.4 การคำนวณต้นทุนต่อปีของเครื่องสับมันสำปะหลัง มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้
ราคา, P1 = 120,000 บาท
ก) ค่าต้นทุนคงที่ = 12,000 บาทต่อปี
ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน = 4,950 บาทต่อปี
ค่าต้นทุนคงที่ของเครื่องสับมันสำปะหลัง = 16,950 บาทต่อปี

ข) ค่าต้นทุนผันแปร
ค่าบำรุงรักษา วัสดุสิ้นเปลือง เครื่องสับมันสำปะหลัง = 5.00 บาทต่อชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปร = 5.00 บาทต่อชั่วโมง
ความสามารถในการทำงาน = 2.09 ตันต่อชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปร = 2.78 บาทต่อตัน

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องสับมันสำปะหลัง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องสับมันสำปะหลัง, บาทต่อตัน = ต้นทุนคงที่+ต้นทุนผันแปร

= (18,137.5/A) + (5.17 +2.78) (1)

เพราะฉะนั้นจุดที่คุ้มทุนของการใช้งานเครื่องสับมันสำปะหลัง สามารถคำนวณได้เมื่อต้นทุนในการใช้เครื่องสับมันสำปะหลังในสมการที่ (1) เท่ากับราคารับจ้างสับมันสำปะหลัง ในปัจจุบันคิดจากค่าจ้างขั้นต่ำจังหวัดมหาสารคาม 310 บาทต่อวัน (ปีพ.ศ.2561)

(18,137.5/A) + (7.95) = 310

A = 60.05 ตันต่อปี

ซึ่งถ้านำเครื่องสับมันสำปะหลังไปใช้งานสับมันสำปะหลังในแต่ละปี สามารถผลิตมันเส้นได้

= 365 วัน x 8 ชั่วโมง x 2.09 ตันต่อชั่วโมง

= 6,102.80 ตันต่อปี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยออกแบบและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์หลักๆ คือ เพื่อศึกษาออกแบบพัฒนาเครื่องสับ, เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องสับ และเพื่อวิเคราะห์ถึงต้นทุนการผลิตของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการวิจัย การทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ 300 รอบ/นาที จะได้อัตราการผลิตอยู่ที่ 1,885.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังเท่ากับ 91.93 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการสูญเสียในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.85 กิโลกรัม จากผลการทดสอบสับหัวมันสำปะหลังรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาเฉลี่ยในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 3.45 นาที

5.1.2 สรุปผลการวิจัย การทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ 350 รอบ/นาที จะได้อัตราการผลิตอยู่ที่ 1,999.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังเท่ากับ 93.16 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการสูญเสียในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.25 กิโลกรัม จากผลการทดสอบสับหัวมันสำปะหลังรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาเฉลี่ยในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 3.27 นาที

5.1.3 สรุปผลการวิจัย การทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่ 400 รอบ/นาที จะได้อัตราการผลิตอยู่ที่ 2,091.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังเท่ากับ 94.45 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการสูญเสียในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.70 กิโลกรัม จากผลการผลสอบสับหัวมันสำปะหลังรวมทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม จะใช้เวลาเฉลี่ยในการสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นมันเส้นเท่ากับ 3.15 นาที

ดังนั้นสรุปผลการวิจัยได้ว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับเท่ากับ 400 รอบ/นาที จะให้อัตราการผลิตชิ้นมันเส้นที่สูงกว่า และมีประสิทธิภาพของเครื่องในการสับหัวมันสำปะหลังที่สูงกว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องสับเท่ากับ 300 รอบ/นาที และความเร็วรอบของเครื่องสับเท่ากับ 350 รอบ/นาที

5.1.4 สรุปผลการวิจัย ด้านต้นทุนการผลิตเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ ผลของการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นต้นกำลัง โดยจะมีอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าสูงสุด

ในการใช้เครื่องสับเท่ากับ 8.04 บาท/ชั่วโมง (4.14 บาท/ตัน) เครื่องสับมันสำปะหลังเมื่อนำไปใช้งานโดยสับหัวมันสำปะหลังในแต่ละปี สามารถผลิตชิ้นมันเส้นได้เท่ากับ 6,102.80 ตันต่อปี

5.2 อภิปรายผล

จากผลการทดสอบครั้งนี้ สามารถที่จะอภิปรายผลการวิจัยได้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบมีด และความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลังสด จะพบว่าเมื่อความเร็วรอบของใบมีดมีค่าสูงขึ้น ความสามารถในการสับจะมีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลของการทดสอบของความเร็วรอบของใบมีดที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องสับหัวมันสำปะหลังพบว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่อง 400 รอบต่อนาที จะได้อัตราการผลิตที่สูง สามารถผลิตชิ้นมันเส้นได้ 2,091.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (2.09 ตันต่อชั่วโมง) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการสับที่ดีกว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องสับ 350 รอบต่อนาที จะสามารถผลิตชิ้นมันเส้นได้ 1,999.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (1.99 ตันต่อชั่วโมง) และความเร็วรอบของเครื่องสับ 300 รอบต่อนาที จะสามารถผลิตชิ้นมันเส้นได้ 1,885.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (1.88 ตันต่อชั่วโมง) โดยจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพการสับชิ้นมันเส้นที่ต่ำ ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากหัวมันสำปะหลังที่ถูกสับที่ความเร็วรอบใบมีดดังกล่าวนั้น เมื่อเทียบต่อน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังสดที่ทำการป้อนแล้ว จึงมีความต้องการกำลังงานที่ใช้ในการสับมากขึ้นนั้นเอง แต่ในขณะเดียวกันเมื่อป้อนลำเลียงหัวมันสำปะสำปะหลังเข้าเครื่องสับจำนวนน้ำหนักเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าความสามารถในการสับหัวมันมีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากหัวมันสำปะหลังที่ป้อนจำนวนมาเข้าเครื่องสับทีละมากเครื่องสับไม่ทัน เกิดการติดขัดของหัวมันสำปะหลังสด และมีการหล่นกระจายลงมาจากช่องทางป้อน มีตำแหน่งที่เหมาะสมพอดีกับความเร็วรอบใบมีดดังกล่าวในขณะที่ใบมีดหมุนมาปะทะจึงทำให้ได้ขนาดความกว้างของชิ้นมันสับที่เล็กกว่า ในขณะที่ความเร็วรอบของใบมีดสับ จะมีผลต่อหัวมันสำปะหลังสดที่หล่นลงมาอาจไม่อยู่ในตำแหน่งที่พอดีในการสับนั้นๆ (อาจจะเกิดการกระดอนไปมาก่อนจะถูกสับ) และผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องสับมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติต้นแบบที่สร้างขึ้นจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายของมอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.04 บาท/ชั่วโมง (4.14 บาท/ตัน) ซึ่งถ้านำเครื่องสับมันสำปะหลังไปใช้งานสับมันสำปะหลังในแต่ละปี สามารถผลิตมันเส้นได้เท่ากับ 6,102.80 ตันต่อปี ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเครื่องสับที่ได้พัฒนาและออกแบบเครื่องนี้ จะง่ายต่อการนำไปใช้งาน การบำรุงรักษาเครื่องสับ เหมาะสำหรับเกษตรขนาดเล็ก และขนาดกลาง เพื่อใช้ในการแปรรูปหัวมันสำหลังสด ผลิตเป็นชิ้นมันเส้นได้

5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

5.3.1 ควรนำเครื่องต้นแบบที่พัฒนาสร้างขึ้น ไปทำการทดสอบในพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของเกษตรหลายๆพื้นที่ เพื่อหาข้อบกพร่องที่จะนำมาพัฒนาปรับปรุงเครื่องต้นแบบ ให้สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพในการสับที่มีสูงต่อไป

5.3.2 ควรมีการศึกษาขนาดรูปร่างลักษณะของหัวมันสำปะหลังสดที่มีขนาดที่แตกต่างกัน มีความหลากหลาย เพื่อนำมาทดลองเข้าเครื่องสับ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองต่อไป

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.4.1 ก่อนจะผ่านชุดสายพานลำเลียงเพื่อเข้าเครื่องสับมันนั้น เพื่อได้ชิ้นมันเส้นที่สะอาด พร้อมตากแดด ควรเพิ่มอุปกรณ์ชุดล้างทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังสดให้สะอาด

5.4.2 จากการทดสอบ มีข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม คือควรมีการตัดเหง้าหัวมันสำปะหลังออกก่อนทำการสับหัวมันสำปะหลังก่อน เพราะถ้าไม่มีการตัดเหง้าหัวมันสำปะหลังจะเป็นผลและมีการติดขัดของเครื่องขณะสับหัวมันสำปะหลังได้

5.4.3 ควรศึกษาออกแบบสร้างใบมีดสับหัวมันสำปะหลัง ให้มีรูปร่างขนาดต่างๆ ที่มีความหลากหลาย เพื่อให้เหมาะสมกับประสิทธิภาพความสามารถในการสับหัวมันสำปะหลัง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

กรมวิชาการเกษตร. (2528). *มันสำปะหลัง.* เอกสารวิชาการ เล่มที่ 7. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า132-133.

กิตติ อินทรานนท์. (2539). *การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.* กรุงเทพฯ: ยูไนเต็ดท์บุ๊คส์.

จิรศักดิ์ ปัญญา และ สุพัฒชัย ดวงบาล พ.ศ. (2545). *เครื่องซอยหน่อไม้.* คณะวิศวกรรมศาสตร์ เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ภาคพายัพ.

จิระชัย กาญจนพฤฒิพงศ์. (2543). *เทคนิคการประกอบสูตรมันสำปะหลังเป็นอาหารโค.* กรุงเทพฯ: เฟื่องฟ้าพริ้นตริ้ง.

จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2541). *กลศาสตร์ของแข็ง.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2541). *การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องมือกล1.* พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชนะ กสิภาร์. (2534). *ความแข็งแรงของวัสดุ.*กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

ดนัย ศุภาหาร. (2537). *พฤษศาสตร์และพันธุศาสตร์ของมันสาปะหลัง.* เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง. กรมวิชาการเกษตร,กรุงเทพฯ. หน้า 14-30.

ทรงฤทธิ์ ศิริวัฒนะ. (2540). *เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ2.* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ และวิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง. (2548). *การศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยกสำหรับผลิตชิ้นมันเส้น.* การประชุมวิชาการครั้งที่ 6 ประจำปี 2548. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

ธีรพงศ์ ผลโพธิ์. (2549). *การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นตะไคร้เพื่อการส่งออก (Design and Fabrication of LemongrassSlicing Machine of Export).* คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธีรศักดิ์ และคณะ. (2547). *ศึกษาออกแบบเครื่องสับต้นข้าวโพด* คณะวิศวกรรมศาสตร์. เครื่องกล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ภาคพายัพ.

ธีรยุทธ สุวรรณประทีป และคณะ. (2543). การ*ออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1 และเล่ม2.* กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรเลง ศรนิล และประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. (2524). *ตารางโลหะ.* กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บรรเลง ศรนิล และกิตติ นิงสานนท์. (2530). *การคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.* กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร. (2544). *การออกแบบเครื่องสับพืชอาหารสด.* รายงานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร : มหาวิทยาลัยแม่โจ้เชียงใหม่.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2541). *การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า.* พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : สมสิริพริ้นติ้ง.

ปรารถนา ปรารถนาดี และคณะ. (2552). *การจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไทย.* กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา.

พยุงศักดิ์ จุลยุเสน. (2552). *ออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร.* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ภรต กุญชร ณ อยุธยา, สุวิทย์ บุญยวานิช และอดุลวรรณ จนา. (2539), *รายงานวิจัยการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องสับพืชอาหารสัตว์แห้งและสดอเนกประสงค์สำหรับปศุสัตว์*, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกาแพงแสน.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ภาคีศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. (2551). รายงานฉบับสมบูรณ์. *การพัฒนากระบวนผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสาหรับอุตสาหกรรมเอทานอล. ศูนย์นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว.*

มานพ ตันตระบัณฑิตย์ และสำลี แสงห้าว. (2537). *วัสดุช่างอุตสาหกรรม.* กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

มานพ ตันตระบัณฑิตย์ สำลี แสงห้าว และสุทิน จิตร์เจริญ. (2536). *ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.* พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2554). *สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก* 2553/54. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สญชัย เข็มเจริญ และคณะ. (2560). *การออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นซอยหอมแดงระบบกึ่งอัตโนมัติต้นแบบ สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม*. รายงานวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี.

สถิติการเกษตรของประเทศไทย. (2561). ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดของประเทศไทย (Online) เข้าถึงได้จาก: http://www.oae.go.th. (20 สิงหาคม 2561)

สุกัญญา จัตติพรพงษ์. (2545). *การแก้ปัญหามันสำปะหลังนครราชสีมา.* รายงานสมาคมผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, นครราชสีมา.

ศุภศันส์ ศุขโรจน์. (2548). *การศึกษาการหั่นชิ้นมันสำปะหลังเพื่อการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลัง.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. (2548). *การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม1.*กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ทั้งฮั่วซิน.

วินิต ชินสุวรรณ. (2535). *การจัดการเครื่องจักรกลเกษตร.*ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วินิต ชินสุวรรณ. (2546). *เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการเบื้องต้น.* ภาควิชาเครื่องจักรกลการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิจิตรา หงษ์ศิริ. (2549). *การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังด้วยใบมีดหมุน.* วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิจิตร บุญยธโรกุล. (2527). *ระบบควบคุมมอเตอร์.*กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เอเซีย.

วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง และคณะ. (2557). *ถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องล้างพร้อมหั่นมันเส้น.* รายงานวิจัยสาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตรคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา.

วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง. (2555). *เครื่องหั่นชิ้นมันเส้น.* รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ประจำปี 2555, 148-155. จังหวัดเชียงใหม่.

วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง. (2552). *เครื่องหั่นชิ้นมันเส้นแบบใบมีดหมุน.* รายงานวิจัยสาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตรคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา.

วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง. (2547). *การศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยกสำหรับผลิตชิ้นมันเส้น.* วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วันชัย ริจิวนิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2531). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิราวุธ สาระขันธ์ และรัชพล สันติรากร. (2533), *การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับย่อยใบอ้อยและวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร*.

สมาน เจริญกิจพูนผล. (2533). *การออกแบบเครื่องจักรกล.*กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซนเตอร์.

อนันต์ วงษ์กระจ่าง. (2533). *ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.* กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

อุทัย คันโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. (2545). *การผลิตมันเส้นคุณภาพดี*, เกรดอาหารสัตว์. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์และภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม.

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Agulanna C.N, Oriaku E.C, Nwannewuihe H.U, Onwukwe M.C, and Adiele I.D., (2015) *Design and Performance Evaluation of a Cassava Chipping Machine.* Projects Development Institute, (PRODA) Emene, Enugu.

Aji I. S., James E., Ejovwoke A. and Mshelia D. A., (2013). *Development of an Electrically Operated Cassava Slicing Machine.* Faculty of Engineering, University of Maiduguri, Maiduguri, Nigeria.

Etoamaihe U.J, Iwe M.O, (2014). *Development and Performance Evaluation of a Reciprocating Motion Cassava Shredder*. Michael Okpara University of Agriculture, Umuahia, Abia State, Nigeria.

G.precision engineering, (2009). http://www.gpreeision.net/about-us-s2.asp.

J.O. Awulu ,J. Audu andY.M. Jibril Visvanathan et al., (2015). *Development of Cassava Chipping Machine using Electric motor cum manual Operation.* University of Agriculture, Makurdi, Nigeria.

M.C. Ndukwua, D. Onyenwigwe (2013). *Development of a MotorIzed Parboiled Cassava Tuber Shredding Machine.* Faculty of Engineering, University of Nigeria.

Thanh et al. (1979). *Development of Rotary cutting Cassava Chips.* Cali, Colombia.

Visanathan, R.,V.V.Screenarayanan and K.R.Swaminathan. (1996). *Effect of Knife and Velocity on the Energy Required to cut Cassava;* India: Tamil Nuda Agricultural University; Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า
เครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

การคำนวณที่ ก.1 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง
กำหนดให้พูลเล่ย์ตัวที่ 1

d_1 = 72.20 mm.

d_2 = 304.80 mm.

F = 150 N.

r = 0.305 m.

จากสมการ T = F x r

= 150 x 0.305

T = 45.75 N.m.

จากสมการ $W_p = \frac{2\pi nT}{60}$

$= \frac{2\pi \times 400 \times 45.75}{60}$

= 1,915.40 Watt

$W_p = H_p$ x 746 Watt

772.45 = H_p x 746 Watt

H_p = 1,915.40 / 746 Horse power

= 2.57 Horse power

จากการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2.57 Horse power
จะเห็นได้ว่าเพื่อให้มีประสิทธิภาพ ในการรับภาระสับหัวมันสำปะหลังได้มาก
ดังนั้นเครื่องสับหัวมันสำปะหลังจะใช้มอเตอร์ขนาด 3.0 Horse power เป็นต้นกำลัง

ภาคผนวก ข

ตารางประกอบการคำนวณ
การออกแบบและสร้างเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ

ตารางประกอบการคำนวณ

ตารางที่ ข.1 ตัวประกอบการใช้งาน Ns สาหรับสายพานลิ่ม

ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ	ชนิดของอุปกรณ์					
ตัวประกอบที่ใช้ในงานนี้พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับแต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ตัวอย่างเช่น ทำงานในสภาวะแวดล้อมเป็นพิเศษ ดั้งนั้นจึงอาจเพิ่มค่าขึ้นอีกได้ในกรณีพิเศษ	<u>มอเตอร์กระแสสลับ</u> : Normal torque, squirrel cage, synchronous and split phase. <u>มอเตอร์กระแสตรง</u> : Shunt wound <u>เครื่องยนต์สันดาปภายใน</u> : ที่หลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm			<u>มอเตอร์กระแสสลับ</u> : High torque, high slip, repulsion-induction, single Phase, series wound and slip ring. <u>มอเตอร์กระแสตรง</u> : Series wound and compound wound <u>เครื่องยนต์สันดาปภายใน</u> : ที่มีหนึ่งลูกสูบความเร็วรอบต่ำกว่า 600 rpm เพลาเมนคลัตช์		
	ชั่งโมงการทำงานต่อวัน			ชั่งโมงการทำงานต่อวัน		
<u>งานเบา</u> : เครื่องกวนของเหลว, เครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบแบบหอยโข่ง, พัดลมที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kW, สายพานลำเลียงงานเบา	≤ 10	10 – 16	> 16	≤ 10	10 – 16	> 16
	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 2, พ.ศ 2553, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.1 ตัวประกอบการใช้งาน Ns สาหรับสายพานลิ่ม (ต่อ)

งานปานกลาง : สายพานลำเลียงทรายหรือ เมล็ดพืช, เครื่องผสมของข้นเหนียว, พัดลมที่มีกำลังสูงกว่า 7.5 kW, เครื่องกำเนิดฟ้า, เพลาเมน, เครื่องซักผ้า, เครื่องมือกล Punches Presses - shears, เครื่องพิมพ์, Positive displacement rotary pumps, เครื่องเขย่า	1.1	1.2	1.3	1.2	1.32	1.4
งานหนัก : เครื่องทำอิฐ, Bucket elevators, exciters, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบแบบลูกสูบ, สายพานลำเลียง ,hammer mills, paper mill beaters, positive displacement blowers, เครื่องบด, เครื่องเลื่อยและเครื่องจักรกลงานไม้, เครื่องทอผ้า	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
งานหนักพิเศษ : Crushers (Gyrators-Jaw-Roll), mills (mill-Rod-Tube), รอกไฟฟ้า, rubber calenders-extruder-mills.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

.

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 2, พ.ศ 2553, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.2 ความยาวพิชต์ที่มีใช้ $L_p = L_i + 43$ mm

L_p	615	650	670	710	725	750	762	775	800	825	838
	875	889	900	925	950	965	975	990	1000	1017	1030
	1060	1075	1090	1120	1150	1175	1180	1200	1215	1225	1250
	1320	1350	1372	1400	1422	1450	1500	1525	1550	1575	1600
	1650	1676	1700	1725	1750	1761	1800	1850	1900	1950	1981
	2030	2060	2083	2108	2120	2160	2200	2240	2286	2300	2360
	2450	2465	2500	2540	2650	2667	2700	2800	2840	2950	3000
	3150	3250	3350	3450	3550	3685	3750	4000	4200	4250	4394
	4572	4750	5000	5300	5600	6000	6300	6700	7000	7100	

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 2, พ.ศ 2553, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.3 ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_1

L_P	942	1042	1142	1292	1442	1642	1842	2042	2282	2592	2842	3192
N_1	0.81	0.84	0.86	0.88	0.90	0.93	0.95	0.98	1.00	1.03	1.05	1.07
L_P	3592	4042	4542	5042	5642	6342						
N_1	1.10	1.13	1.15	1.18	1.20	1.23						

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 2, พ.ศ 2553, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.4 สมรรถนะในการส่งกาลังของสายพานลิ่มหน้าตัด B ต่อเส้น P_R(เป็น kW) สำหรับสายพานยาว L_p = 2282 mm และส่วนโค้งสัมผัส α = 180°

		ความเร็วรอบของล้อสายพานเล็ก n (rpm)										
d_p		700	800	950	1000	1200	1450	1800	2000	2400	2850	3200
(mm)	mω	สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น P_R (kW)										
112	1.00	1.23	1.36	1.55	1.60	1.83	2.07	2.37	2.51	2.74	2.89	2.93
	1.05	1.27	1.41	1.60	1.66	1.90	2.16	2.48	2.63	2.88	3.06	3.12
	1.20	1.36	1.50	1.71	1.78	2.04	2.33	2.69	2.87	3.16	3.39	3.49
	1.50	1.42	1.58	1.80	1.87	2.15	2.46	2.85	3.05	3.38	3.65	3.78
	≥ 3.00	1.47	1.63	1.86	1.94	2.22	2.56	2.97	3.18	3.54	3.84	3.99
125	1.00	1.56	1.73	1.98	2.06	2.35	2.69	3.10	3.30	3.62	3.84	3.91
	1.05	1.60	1.78	2.03	2.11	2.42	2.77	3.20	3.41	3.76	4.01	4.10
	1.20	1.69	1.87	2.14	2.23	2.56	2.94	3.41	3.65	4.04	4.34	4.47
	1.50	1.75	1.95	2.23	2.32	2.67	3.08	3.58	3.83	4.26	4.60	4.76
	≥ 3.00	1.80	2.00	2.29	2.39	2.75	3.17	3.69	3.96	4.41	4.79	4.97
140	1.00	1.94	2.16	2.47	2.57	2.95	3.38	3.91	4.16	4.57	4.85	4.92
	1.05	1.98	2.20	2.52	2.63	3.02	3.47	4.01	4.28	4.71	5.02	5.11
	1.20	2.06	2.30	2.63	2.74	3.16	3.63	4.22	4.51	4.99	5.35	5.48
	1.50	2.13	2.37	2.72	2.83	3.27	3.77	4.39	4.70	5.21	5.61	5.78
	≥ 3.00	2.17	2.42	2.78	2.90	3.35	3.86	4.50	4.83	5.37	5.80	5.98
160	1.00	2.43	2.71	3.11	3.24	3.72	4.27	4.94	5.26	5.75	6.04	6.06
	1.05	2.47	2.76	3.16	3.29	3.79	4.36	5.04	5.37	5.89	6.21	6.25
	1.20	2.55	2.85	3.27	3.41	3.93	4.53	5.25	5.61	6.17	6.54	6.62
	1.50	2.62	2.92	3.36	3.50	4.04	4.66	5.42	5.79	6.39	6.80	6.91
	≥ 3.00	2.66	2.98	3.42	3.57	4.12	4.76	5.54	5.92	6.55	6.99	7.12
180	1.00	2.92	3.25	3.73	3.89	4.47	5.13	5.91	6.28	6.80	7.04	6.93
	1.05	2.96	3.30	3.79	3.95	4.54	5.22	6.02	6.39	6.94	7.21	7.12
	1.20	3.04	3.39	3.90	4.06	4.68	5.39	6.23	6.63	7.22	7.54	7.49
	1.50	3.10	3.47	3.99	4.16	4.79	5.52	6.39	6.81	7.44	7.80	7.78
	≥ 3.00	3.15	3.52	4.05	4.22	4.87	5.62	6.51	6.94	7.60	7.99	7.99

ตารางที่ ข.4 สมรรถนะในการส่งกาลังของสายพานลิ่มหน้าตัด B ต่อเส้น P_R(เป็น kW) สำหรับสายพานยาว L_p = 2282 mm และส่วนโค้งสัมผัส α = 180° (ต่อ)

200	1.00	3.39	3.79	4.35	4.53	5.20	5.96	6.83	7.21	7.73	7.82	7.50
	1.05	3.44	3.44	4.40	4.59	5.27	6.04	6.93	7.33	7.87	7.99	7.69
	1.20	3.52	3.52	4.51	4.70	5.41	6.21	7.14	7.57	8.15	8.32	8.06
	1.50	3.58	3.58	4.60	4.79	5.52	6.35	7.31	7.75	8.37	8.58	8.36
	≥ 3.00	3.63	3.63	4.66	4.86	5.60	6.44	7.43	7.88	8.52	8.77	8.56
224	1.00	3.96	4.41	5.06	5.27	6.05	6.90	7.84	8.23	8.64		
	1.05	4.00	4.46	5.12	5.33	6.12	6.98	7.96	8.35	8.79		
	1.20	4.08	4.55	5.23	5.45	6.26	7.15	8.15	8.58	9.07		
	1.50	4.14	4.63	5.32	5.54	6.37	7.29	8.32	8.76	9.29		
	≥ 3.00	4.19	4.68	5.38	5.60	6.45	7.38	8.44	8.89	9.44		

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 2, พ.ศ 2553, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.5 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_a สำหรับสายพานลิ่ม

$\frac{D_p - d_p}{C}$	ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha \equiv$	N_a
0	180	1
0.15	170	0.98
0.35	160	0.95
0.5	150	0.92
0.7	140	0.89
0.85	130	0.86
1.0	120	0.82
1.15	110	0.78
1.3	100	0.73
1.45	90	0.68

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 2, พ.ศ 2553, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.6 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้ารีดร้อน HR และเหล็กกล้ารีดเย็น CD

SAE AND OR ASI NO	PROCESSING	TENSILE STRENGTH, MPa(kpsi) (σ_u)	YIELD STRENGTH, MPa(kpsi) (σ_y)	ELONGATION IN 2 in , %	REDUCTION IN AREA %	BRINELL HARDNESS (HB)
1066	HR	300(43)	170(24)	30	55	86
	CD	330(48)	280(41)	20	45	95
1010	HR	320(47)	180(26)	28	50	95
	CD	370(53)	300(44)	20	40	105
1015	HR	340(50	190(27.5)	28	50	101
	CD	390(56)	320(47)	18	40	111
1018	HR	400(58)	220(32)	25	50	116
	CD	440(64)	370(54)	15	40	126
1020	HR	380(55)	210(30)	20	50	111
	CD	470(68)	390(57)	12	40	131
1030	HR	470(68)	260(37.5)	18	42	137
	CD	520(76)	440(64)	12	35	149
1035	HR	500(72)	270(39.5)	18	40	143
	CD	550(80)	460(67)	12	35	163
1040	HR	520(76)	290(42)	18	40	149
	CD	590(85)	490(71)	12	35	170
1045	HR	570(82)	310(45)	16	40	163
	CD	630(91)	530(77)	12	35	179
1050	HR	620(90)	340(49.5)	15	35	179
	CD	690(100)	580(84)	10	30	197
1060	HR	680(98)	370(54)	12	30	201
1080	HR	770(112)	420(61.5)	10	25	229
1095	HR	830(120)	460(66)	10	25	248

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าความยาวมาตรฐาน L_S และตัวประกอบแก้ไขความยาว K_2 สาหรับสายพานตัว V ธรรมดาใช้งานหนักขนาดเป็นนิ้ว

L_S	A	B	C	D	L_S	B	C	D	E
26	0.78				144	1.10	1.00	0.91	
31	0.82				158	1.12	1.02	0.93	
35	0.83	0.80			173	1.14	1.04	0.94	
38	0.87	0.82			180	1.15	1.05	0.95	0.92
42	0.89	0.84			195	1.17	1.06	0.96	0.93
46	0.91	0.86			210	1.18	1.07	0.98	0.95
51	0.93	0.88	0.80		240	1.22	1.10	1.00	0.97
55	0.95	0.89			270	1.24	1.13	1.02	0.99
60	0.97	0.91	0.83		300	1.27	1.15	1.04	1.01
68	1.00	0.94	0.83		330		1.17	1.06	1.03
75	1.02	0.96	0.87		360		1.18	1.07	1.04
80	1.04				390		1.20	1.09	1.06
81		0.98	0.89		420		1.21	1.10	1.07
85	1.05	0.99	0.90		480			1.13	1.09
90	1.07	1.00	0.91		540			1.15	1.11
96	1.08		0.92		600			1.17	1.13
97		1.02			660			1.18	1.15
105	1.10	1.03	0.94						
112	1.12	1.05	0.95						
120	1.13	1.06	0.96	0.88					
128	1.15	1.08	0.98	0.89					

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

.**ตารางที่ ข.8** ขนาดลิ่มมาตรฐานที่ใช้กับเพลาขนาดต่างๆ

ขนาดเพลา (d) mm	ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส ISO/R 773 ISO/R 774 b × h	ลิ่มแบน ISO 2491 ISO 2492 b × h	แซดเดิลคีย์ DIN 6881 b × h	ลิ่มวงเดือน ISO 3912		
				b × h_1 × R	t_1	t_2
3-4				1.0 × 1.40 × 4	1.0	0.6
4-5				1.5 × 2.60 × 7	2.0	0.8
5-6				2.0 × 2.60 × 7	1.8	1.0
6-7	2 × 2			2.0 × 3.70 × 10	2.9	1.0
7-8	2 × 2			2.5 × 3.70 × 10	2.7	1.2
8-10	3 × 3			3.0 × 5.00 × 13	3.8	1.4
10-12	4 × 4			3.0 × 6.50 × 16	5.3	1.4
12-14	5 × 5	5 × 3		4.0 × 6.50 × 16	5.0	1.8
14-16	5 × 5	5 × 3		4.0 × 7.50 × 19	6.0	1.8
16-18	5 × 5	6 × 4		5.0 × 6.50 × 16	4.0	2.3
18-20	6 × 6	6 × 4		5.0 × 7.50 × 19	5.5	2.3
20-22	6 × 6	6 × 4		5.0 × 9.00 × 22	7.0	2.3
22-25	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	6.0 × 9.00 × 22	6.5	2.8
25-28	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	6.0 × 10.0 × 25	7.5	2.8
28-32	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	8.0 × 11.0 × 28	8.0	3.3
32-38	10 × 8	10 × 6	10 × 4.0	10.0 × 13.0 ×	10.0	3.3
38-44	12 × 8	12 × 6	12 × 4.0	32		
44-50	14 × 9	14 × 6	14 × 4.5			
50-58	16 × 10	16 × 7	16 × 5.0			
58-65	18 × 11	18 × 7	18 × 5.0			
65-75	20 × 12	20 × 8	20 × 6.0			
78-85	22 × 14	22 × 9	22 × 7.0			
85-95	25 × 14	25 × 9	25 × 7.0			
95-110	28 × 16	28 × 10	28 × 7.5			
110-130	32 × 18	32 × 11	32 × 8.5			
130-150	36 × 20	36 × 12	36 × 9.0			

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 1, พ.ศ 2552, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าต่างๆ สำหรับเหล็กรีดร้อน และรีดเย็นเป็นค่าประมาณซึ่งจะใช้ได้สำหรับเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง ¾ - 2 ¾ นิ้ว

UNS Number	ASI Number	Processing	Yield Strenght, Kpsit	Tensile Strength, Kpsit	Elongation In 2 in, %	Reduction In area, %	Brinell Hardness H_3
G10100	1010	HR	26	47	28	50	95
		CD	44	53	20	40	105
G10150	1015	HR	27	50	28	50	101
		CD	47	56	18	4	111
G10180	1018	HR	32	58	25	50	116
		CD	54	64	15	40	126
	1112	HR	33	56	25	45	121
		CD	60	78	10	35	167
G10350	1035	HR	39	72	18	40	143
		CD	67	80	12	35	163

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

ตารางที่ ข.10 แสดงค่าการเปลี่ยนความยาวสำหรับสายพานธรรมดาใช้งานหนักขนาดเป็นนิ้ว

Belt section	Size range in	Conversion quantity in
A	26 to 128	1.3
B	35 to 240	1.8
B	240 up	2.1
C	51 to 210	2.9
C	210 up	3.8
D	120 to 210	3.3
D	210 up	4.1
E	180 to 240	4.5
E	240 up	5.5

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

ตารางที่ ข.11 แสดงค่าคงที่ใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง

Belt section	C_1	C_2	C_3	C_4
A	0.8542	1.342	$2.4364(10)^{-4}$	0.1203
B	1.506	3.520	$4.193(10)^{-4}$	0.2931
C	2.789	9.788	$7.460(10)^{-4}$	0.5214
D	5.922	34.72	$1.522(10)^{-3}$	1.064
E	8.642	66.32	$2.192(10)^{-3}$	1.532
13C	$3.3169(10)^{-2}$	1.088	$1.161(10)^{-5}$	$5.23(10)^{-3}$
16C	$5.185(10)^{-2}$	2.273	$1.759(10)^{-5}$	$7.934(10)^{-3}$
22C	$1.002(10)^{-2}$	7.040	$3.323(10)^{-5}$	$1.500(10)^{-2}$
32C	$2.205(10)^{-2}$	26.62	$7.073(10)^{-5}$	$3.174(10)^{-2}$

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

ตารางที่ ข.12 แสดงค่าตัวประกอบสัดส่วนความเร็วเพื่อใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง

D / d range	K_A
1.0 to 1.01	1.0000
1.02 to 1.04	1.0112
1.05 to 1.07	1.0226
1.08 to 1.10	1.0344
1.11 to 1.14	1.0463
1.15 to 1.20	1.0586
1.21 to 1.27	1.0711
1.28 to 1.39	1.0840
1.40 to 1.64	1.0972
Over 1.64	1.1106

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

ตารางที่ ข.13 แสดงค่าตัวประกอบการใช้งาน K_a ที่แนะนำให้ใช้สำหรับสานพานตัว V

Driven machinery	Source of power	
	Normal torque characteristic	High or non uniform torque
Uniform	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Light shock	1.2 to 1.3	1.2 to 1.4
Medium shock	1.3 to 1.4	1.4 to 1.6
Heavy shock	1.4 to 1.5	1.5 to 1.8

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

ตารางที่ ข.14 แสดงค่าตัวประกอบความเชื่อถือได้ (K_b)

Reliability R	Standard zed variable Z_r	Reliability factor K_a
0.5	0	1.000
0.9	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.090	0.753
0.9999	3.719	0.702
0.99999	4.265	0.659
0.999999	4.753	0.620
0.9999999	5.199	0.584
0.99999999	5.612	0.551
0.999999999	5.997	0.520

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล 1&2 , พ.ศ. 2544 ,ธีรยุทร สุวรรณประทีปและ ธัญญะ เกียรติวัฒน์

ตารางที่ ข.15 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลาอยู่นิ่ง		
- แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
- แรวกระตุก	1.5 - 2.0	1.5 – 2.0
เพลาหมุน		
- แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
- แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 - 2.0	1.0 – 1.5
- แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 - 3.0	1.5 – 3.0

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักกล 1, พ.ศ 2552, ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน

ตารางที่ ข.16 ปัจจัยรับแรงทาง Radial เทียบเท่า

Bearing type	X_1	Y_1	X_2	Y_2
Radial-contact ball bearings	1	0	0.5	1.4
Angular-contact ball bearings with shallow angle	1	1.25	0.45	1.2
Angular-contact ball bearings with steep angle	1	0.75	0.4	0.75
Double-row and duplex ball bearings (type DB or DF)	1	0.75	0.63	1.25

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 2 , พ.ศ. 2534 , ตะวัน สุจริตกุล.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นายรังสรรค์ พงษ์พัฒนอำไพ (Mr.Rungsun Pongpattanaumpai)

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ที่ทำงาน สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000
โทรศัพท์ 081-2632579 Email: Rungsun_2514@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท (ค.อ.ม.) สขาวิชาวิศวกรรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2548
ปริญญาตรี (ค.อ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรรมอุตสาหการ
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (วิทยาเขตขอนแก่น) พ.ศ. 2540

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย : งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว

หัวหน้าโครงการย่อย

พ.ศ. 2553 การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งกระท้อนแช่อิ่มแบบไฮบริดจ์

พ.ศ. 2554 การพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวระบบอัตโนมัติ

ผู้ร่วมวิจัย

พ.ศ. 2553 การสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลิตภัณฑ์กระท้อน

พ.ศ. 2554 การพัฒนาต้นแบบเครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในดินสอพองสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยประยุกต์ใช้เตาเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

พ.ศ. 2554 การสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อชุมชน

พ.ศ. 2555 การวิจัยและพัฒนาสูตรอาหารสัตว์โดยใช้ผลิตภัณฑ์จากเชื้อราโมแนสคัสและเทคโนโลยีด้านอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต

พ.ศ. 2556 แนวทางการพัฒนาเครื่องปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการใช้ทรัพยากรน้ำจากน้ำบาดาลในวัดชุมชนเขาซับแกงไก่ โดยเทคนิคการควบคุมแบบการติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุด

พ.ศ. 2557 การออกแบบและพัฒนาสร้างยานยนต์ไฟฟ้าเอนกประสงค์ต้นแบบ

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ นายปพณ สะอาดยวง (Mr. Papol Sardyoung)

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาตราจารย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี รหัสไปรษณีย์ 15000

โทรศัพท์ 081-5719744, 036-422125 ต่อ815 Email: papol_s@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก (วศ.ด.) สาขาวิชาวิศวกรรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2561

ปริญญาโท (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2549

ปริญญาตรี (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2538

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย : งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว

หัวหน้าโครงการย่อย

พ.ศ. 2554 การพัฒนาต้นแบบเครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในดินสอพองสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยประยุกต์ใช้เตาเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

พ.ศ. 2556 แนวทางการพัฒนาเครื่องปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการใช้ทรัพยากรน้ำจากน้ำบาดาลในวัดชุมชนเขาซับแกงไก่ โดยเทคนิคการควบคุมแบบการติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุด

พ.ศ. 2557 การพัฒนาระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์กับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ที่วัดป่าชุมชนเขาซับแกงไก่

ผู้ร่วมวิจัย

พ.ศ. 2553 การสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลิตภัณฑ์กระท้อน

พ.ศ. 2553 การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งกระท้อนแช่อิ่มแบบไฮบริดจ์

พ.ศ. 2554 การสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อชุมชน

พ.ศ. 2554 การพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวระบบอัตโนมัติ

พ.ศ. 2556 ความหลากหลายทางชีวภาพ และการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์พื้นที่เขาซับแกงไก่ จังหวัดลพบุรี

พ.ศ. 2557 การพัฒนาเขาซับแกงไก่ จังหวัดลพบุรี เป็นแหล่งเรียนรู้และส่งเสริมการท่องเที่ยว

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ ว่าที่ร้อยตรีหญิงณมน วรธนานุวงศ์
Acting 2Lt. Namon Vorathnanuwong

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม แขนงวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี รหัสไปรษณีย์ 15000
โทรศัพท์ 036-422125 โทรศัพท์ 099-4545-393 อีเมล์ czkamail@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร พ.ศ. 2551
ปริญญาตรี (ค.อ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตธัญบุรี พ.ศ. 2546

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ.2549 - พ.ศ.2551	ผู้ช่วยวิศวกรดูแลโครงการ Peck Cut การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
พ.ศ.2552 - พ.ศ.2554	ผู้ช่วยผู้อำนวยการโครงการความร่วมมือระหว่างมหาลัย โครงการอบรมหลักสูตรคอมพิวเตอร์ให้แก่บุคลากรท้องถิ่น สถาบันพัฒนาบุคลากรท้องถิ่น
พ.ศ.2554 – ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรม แขนงวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย : งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว

Computer Damage Prediction Using Data Mining Technique.
Ladkrabang Engineering Journal, Thailand. 2010