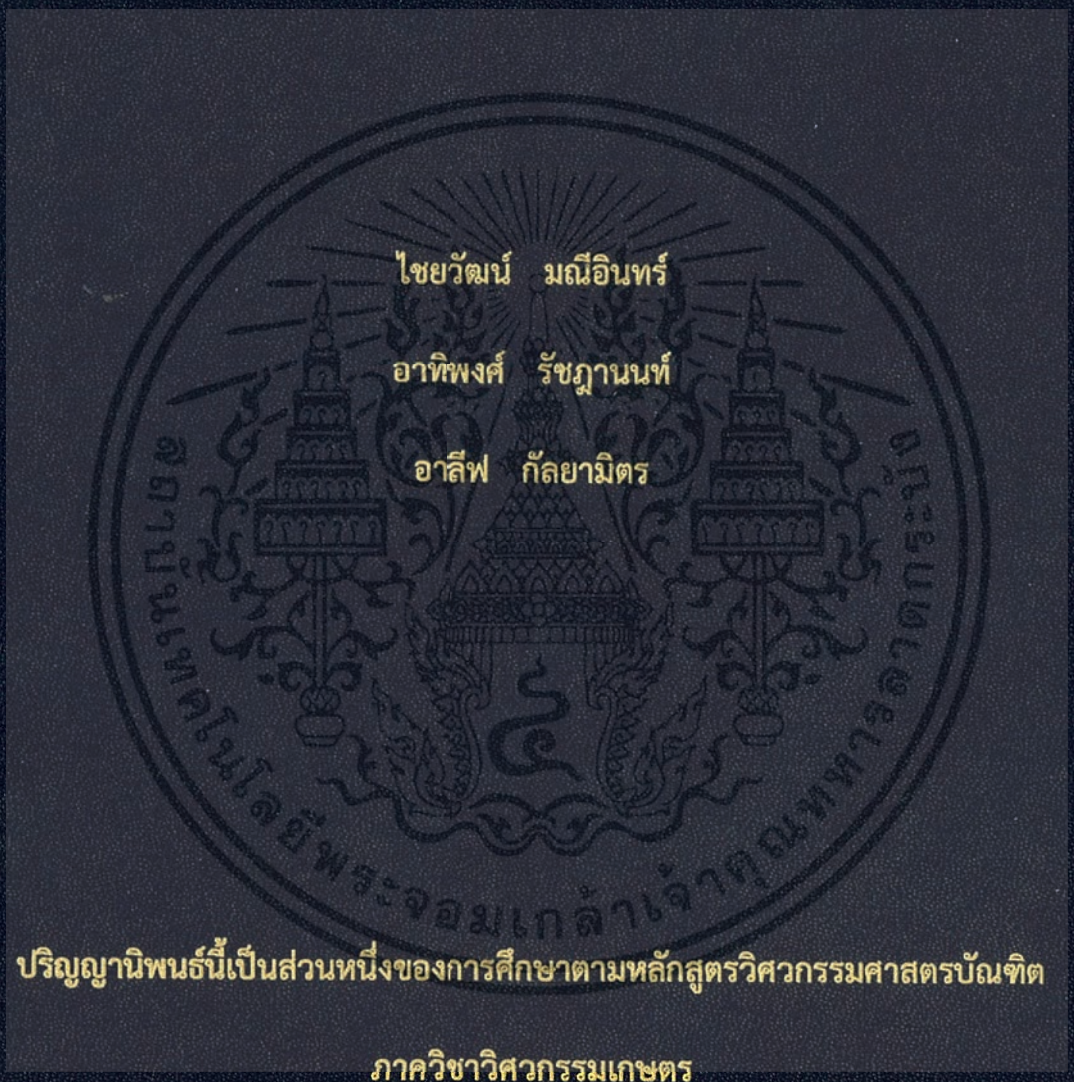
การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

Design and Development of Press set and Knife set for Cassava Cutting Cube Machine

ไชยวัฒน์ มณีอินทร์

อาทิพงศ์ รัชฎานนท์

อาลีฟ กัลยามิตร



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

Design and Development of Press set and Knife set for Cassava Cutting Cube Machine

ไชยวัฒน์ มณีอินทร์

อาทิพงศ์ รัชฎานนท์

อาลีฟ กัลยามิตร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Development of Press set and Knife set for Cassava Cutting Cube Machine

CHAIWAT MANEEIN

ARTHIPONG RATCHADANON

ALIVE KALAYAMIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

Design and Development of Press set and Knife set for Cassava Cutting Cube Machine

นักศึกษาผู้จัดทำ	นาย ไชยวัฒน์ มณีอินทร์	รหัสประจำตัว 58010309
	นาย อาทิพงศ์ รัชฎานนท์	รหัสประจำตัว 58011445
	นาย อาลีฟ กัลยามิตร	รหัสประจำตัว 58011451
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)	
หลักสูตร	วิศวกรรมเกษตร	
ภาควิชา	วิศวกรรมเกษตร	
ปีการศึกษา	2561	

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

Design and Development of Press set and Knife set for Cassava Cube Cutting Machine

นักศึกษาผู้จัดทำ ไชยวัฒน์ มณีอินทร์ 58010309

อาทิพงศ์ รัชฎานนท์ 58011445

อาลีฟ กัลยามิตร 58011451

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ธีรพงศ์ ผลโพธิ์

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษา การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ซึ่งมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ 1.) ชุดใบมีดหั่น และใบมีดปัดมัน 2.) ชุดกดและชุดมีดสำหรับหั่นย่อยมันสำปะหลัง 3.) ชุดส่งถ่ายกำลัง โดยหลักการทำงานของเครื่องได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก ใส่หัวมันเข้าไปยังชุดมีดหั่นมัน ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นหนาขนาด 2.54 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะถูกปัดเข้าไปในชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยมันสำปะหลัง ซึ่งมีขนาดเป็นช่องตารางสี่เหลี่ยมขนาด 2.54 ตารางเซนติเมตร ทั้งหมด 64 ช่อง เพื่อให้หั่นมันออกมาเป็นลักษณะแบบลูกเต๋าขนาด 2.54 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ เท่ากับ 33.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นลูกเต๋าไม่สมบูรณ์ เท่ากับ 54.7 เปอร์เซ็นต์ เป็นเศษมันสำปะหลัง เท่ากับ 4.2 เปอร์เซ็นต์ และล้นออกจากเครื่องขณะทำงาน เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกำลังของการผลิตของเครื่องเท่ากับ 532.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง และใช้เวลาเฉลี่ย เท่ากับ 2.252 ± 0.28 นาที ส่วนวัสดุใบมีดที่เหมาะสมสำหรับหั่นย่อยมันสำปะหลัง ได้แก่ Stainless steel ถึงแม้ Eclipse saw blade จะมีความคมและความแข็งที่มากกว่า แต่ไม่เหมาะในการใช้อุตสาหกรรมแปรรูปและการใช้งานในระยะยาว ส่วนชุดกดมันสำปะหลังที่ทางผู้จัดทำโครงงานได้นำรูปแบบชุดกดแบบแท่งซี่กลับมาใช้ เพราะสามารถแก้ปัญหามันสำปะหลังที่ติดอยู่ในช่องของชุดมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังและอาการเครื่องติดขัดออกไปได้

คำสำคัญ : ออกแบบ พัฒนา ชุดกดและชุดมีด มันสำปะหลัง ลูกเต๋า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Design and Development of Press set and Knife set for Cassava Cube Cutting Machine

Authors Chaiwat Maneein 58010309

Arthipong Ratchadanon 58011445

Alive Kanlayamit 58011451

Thesis Advisor Asst. Prof. Dr. Teerapong PholPho

Year 2018

Abstract

This thesis aimed to design and develop a press set and knife set for cassava cube cutting machine. The machine composed of 3 main parts including 1) the blade set 2) the press set and knife set 3) the transmission set. The procedure is divided into 2 steps. First, put the cassava into blade set and sliced to a thickness of 2.54 centimeter. Second, swept cassava into the press set. Cassava will be pressed into the blade, which resembles a square size 2.54 centimeter, 64 slots to cut out the cube. (2.54x2.54x2.54 centimeter). The result showed the percent of dice of cassava is 33.10 % , non-dice of cassava is 54.70 % , the scarp of cassava is 4.2 % and the loss of cassava while operated machine is 8 %. The result showed the capacity of developed machine is 532.8 Kg/hr with an average time of 2.252 minutes. The result showed the suitable material for cassava cube cutting is a stainless steel although a eclipse saw blade has a higher sharpness and hardness but isn't suitable for use in food processing industry and the suitable shape for press set of cassava cube cutting is flat shape with bar because the problem of cassava struck in the slot of the cassava cube cutting and the jamming of the machine can be solved.

Keyword : Design, Development, Press set and Knife set, Cassava, Cube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำแนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอดจนปริญญนิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ผู้จัทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอภัย คำทั่ง และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์ในการจัดทำโครงงาน สถานที่ และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อันที่เคารพรักยิ่งที่คอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณทางบริษัท ทรี เอ็น คาสชาวา บาย โปรดักส์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเครื่องต้นแบบและเงินทุนสำหรับการวิจัยในการพัฒนาโครงงานนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้ปริญญนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายไชยวัฒน์ มณีอินทร์

นายอาทิพงศ์ รัชฎานนท์

นายอาลีฟ กัลยามิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตการศึกษาโครงงาน 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3

1.6 งบประมาณ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.2 ทฤษฎี ความรู้ที่เกี่ยวข้อง 5

2.2.1 พันธุ์ของมันสำปะหลัง 5

2.2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.3 ทฤษฎีทางกลศาสตร์ 10

2.2.4 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกลและการส่งถ่ายกำลัง 11

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 37

3.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการออกแบบใบมีดหั่นสำปะหลัง 38

3.2 โครงสร้างของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า 38

3.3 การออกแบบชุดใบมีด 39

3.3.1 การสร้างชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยเป็นลูกเต๋ามันสำปะหลับสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า 39

3.3.2 สร้างชุดกดมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า 42

3.3.3 การสร้างหน้าแปลนสำหรับยึดชุดมีดไว้กับเครื่องกดมัน 42

3.3.4 การส่งกำลังและอัตราทดรอบของเครื่องหั่นมันสำปะหลังเป็นลูกเต๋า 44

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่อง 45

บทที่ 4 อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และผลการทดลอง 46

4.1 อุปกรณ์ 46

4.2 วิธีการทดลอง 46

4.2.1 ทดลองหาขนาดของหัวมันสำปะหลัง 46

4.2.2 ทดลองหาแรงกดของใบมีดที่กระทำกับเนื้อมันสำปะหลัง 46

4.2.3 ทดลองหาส่วนประกอบและความแข็งของวัสดุใบมีด 47

4.2.4 ทดลองหากำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.5 ทดลองหาความสามารถในการเป็นเต๋าของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า	47
4.3 ผลการทดลอง	48
4.3.1 ผลการทดลองหาขนาดของหัวมันสำปะหลัง	48
4.3.2 ผลการทดลองหาแรงกดของใบมีดที่กระทำกับเนื้อมันสำปะหลัง	50
4.3.3 ผลการทดลองหาส่วนประกอบและความแข็งของวัสดุใบมีด	53
4.3.4 ผลการทดลองหากำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า	55
4.3.5 ผลการทดลองหาความสามารถในการเป็นเต๋าของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 การอภิปรายผล	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก.	63
ภาคผนวก ข.	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหาส่วนประกอบและความแข็งของวัสดุใบมีด 54

ตารางที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 64

ตารางที่ ก.2 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที 67

ตารางที่ ก.3 การทดสอบหาแรงกดของใบมีดที่กระทำกับมันสำปะหลัง 71

ตารางที่ ก.4 กำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้รับการพัฒนา 74

ตารางที่ ก.5 เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการเป็นเต๋าของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้รับการพัฒนา 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เครื่องต้นแบบสำหรับสับมันสำปะหลังแบบเตำ 4

รูปที่ 2.2 ลักษณะก้านและใบของต้นมันสำปะหลัง 9

รูปที่ 2.3 ดอกตัวผู้ 10

รูปที่ 2.4 ดอกตัวเมีย 10

รูปที่ 2.5 ลักษณะแต่ละแบบของมีด 11

รูปที่ 2.6 แสดงลักษระส่วนประกอบของโซ่ส่งกำลัง 15

รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของโซ่ลูกกลิ้ง 15

รูปที่ 2.8 โซ่ลูกกลิ้ง 16

รูปที่ 2.9 โซ่ปลอก 16

รูปที่ 2.10 โซ่ฟันเฟือง 17

รูปที่ 2.11 คำจำกัดความส่วนต่างๆของเฟือง 20

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ 21

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ 23

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส 25

รูปที่ 2.15 เครื่อง Optical emission Spectrometer 26

รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของเครื่อง Optical Emission Spectrometer 27

รูปที่ 2.17 แผนผังการทำงานของเครื่อง Optical Emission Spectrometer 27

รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการสร้างชุดกดและชุดมีด 37

รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเตำ 38

รูปที่ 3.3 เหล็กแผ่นยาว 8 นิ้วและ10 นิ้ว พร้อมบากร่อง 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.4 กรอบชุดมีด 40

รูปที่ 3.5 ใบมีดที่ผ่านการลับคมแบบ V-Shape 41

รูปที่ 3.6 ใบมีด 41

รูปที่ 3.7 ใบมีดที่สานกัน 41

รูปที่ 3.8 กรอบมีดพร้อมชุดมีดหั่นย่อย 42

รูปที่ 3.9 แผ่นเหล็กกดมันสำปะหลัง 42

รูปที่ 3.10 ชุดกดพร้อมติดแท่งเหล็ก 42

รูปที่ 3.11 แปลนสำหรับยึดกับกรอบ 43

รูปที่ 3.12 กรอบชุดมีดและแปลนที่ยึดติดกัน 43

รูปที่ 3.13 ชุดกดและชุดมีดประกอบกันเรียบร้อย 43

รูปที่ 3.14 การส่งกำลังและอัตราทดของเครื่อง 45

รูปที่ 4.1 กราฟความกว้างเฉลี่ยของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 48

รูปที่ 4.2 กราฟความหนาเฉลี่ยของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 48

รูปที่ 4.3 กราฟความยาวเฉลี่ยของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 49

รูปที่ 4.4 กราฟความกว้างเฉลี่ยของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที 49

รูปที่ 4.5 กราฟความยาวเฉลี่ยของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที 50

รูปที่ 4.6 กราฟความหนาเฉลี่ยของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที 50

รูปที่ 4.7 กราฟแรงกดในการกดมันสำปะหลังของใบมีด Eclipse กับ Stainless ในส่วนท้ายมัน 51

รูปที่ 4.8 กราฟแรงกดในการกดมันสำปะหลังของใบมีด Eclipse กับ Stainless ในส่วนกลาง 52

รูปที่ 4.9 กราฟแรงกดในการกดมันสำปะหลังของใบมีด Eclipse กับ Stainless ในส่วนหัวมัน 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 กราฟกำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนา 55

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงน้ำหนักของลูกเต๋าสมบูรณ์, เต๋าไม่สมบูรณ์, เศษมัน, ส่วนที่ล้นออก 56

รูปที่ ข.1 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ทำการพัฒนา 77

รูปที่ ข.2 ชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า 78

รูปที่ ข.3 ผลผลิตที่ได้จากเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสมบูรณ์ 79

รูปที่ ข.4 ผลผลิตที่ได้จากเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าไม่สมบูรณ์ 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มันสำปะหลังเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ๆ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงทำให้มันสำปะหลังกลายเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยและไม่เพียงแต่จะเป็นวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมอาหารในบางส่วนเท่านั้น หากแต่มันสำปะหลังยังใช้เป็นวัตถุดิบในการสร้างพลังงานทดแทนได้อีกด้วย โดยเฉพาะการผลิตเอทานอล แทนพลังงานจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม เป็นต้น ซึ่งไทยเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ที่สุดของโลก รองลงมา ได้แก่ เวียดนามและกัมพูชา ในช่วง 10 เดือนแรก ของปี 2560 ไทยมีการส่งออกผลติภัณฑ์มันสำปะหลัง 8.7 ล้านตันมีมูลค่าส่งออกทั้งสิ้น 75,472.4 ล้านบาท

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นผู้นำในการผลิตมันสำปะหลัง จากรายงานของสำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร แนวโน้มสถานการณ์ของมันสำปะหลัง ปี 2560 ของประเทศไทยพบว่า การผลิตปี 2560 มีพื้นที่เพาะปลูก 8.9 ล้านไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 8.7 ล้านไร่ ผลผลิต 30.4 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3.4 ตัน

แม้ว่าประเทศไทยจะไม่ใช่ประเทศที่ผลิตมันสำปะหลังมากที่สุดในโลก แต่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก ครองอันดับ 1 มาโดยตลอด โดยมีประเทศ เวียดนาม ไนจีเรีย กัมพูชา อินโดนีเซีย และ บราซิล เป็นประเทศผู้ส่งออกรองลงมา ส่วนแบ่งการตลาดของปริมาณผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังส่งออกไปยังตลาดโลก ประมาณร้อยละ 70-80 ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรวมทั้งหมดของโลก เป็นการส่งออกจากประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากมันสำปะหลังที่ผลิตได้ทั้งในประเทศไนจีเรีย บราซิล และอินโดนีเซีย จะใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารหลักบริโภคภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ประมาณร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนประเทศไทย มันสำปะหลังไม่ใช่อาหารหลัก จึงใช้บริโภคในประเทศน้อย เพียงร้อยละ 25-30 ของปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้เท่านั้น ผลผลิตส่วนใหญ่ร้อยละ70-75 จะส่งออกในรูปผลิตภัณฑ์แปรรูปขั้นพื้นฐาน ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งมันสำปะหลังเส้นและมันสำปะหลังอัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในปัจจุบันวิธีการแปรรูปมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการแปรรูปผลผลิตในรูปแบบมันเส้น ซึ่งการแปรรูปผลผลิตในวิธีนี้ยังไม่ตรงกับความต้องการทางตลาด เนื่องจากการแปรรูปมันสำปะหลังในรูปแบบมันเส้นในประเทศไทยนั้นยังขาดความสะอาดและมีขนาดที่ใหญ่ ทำให้การลดความชื้นต้องใช้เวลานานจึงทำให้มีคุณภาพที่ต่ำ ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ทางบริษัทผู้แปรรูปผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ได้หันไปซื้อจากประเทศเพื่อนบ้านซึ่งมีราคาถูกและคุณภาพที่ใกล้เคียงกันเพื่อเป็นการลดต้นทุน ทางเราจึงได้ศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องจักรแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สามารถเพื่อลดความชื้นได้ง่ายและมีคุณภาพต่อความต้องการของตลาดที่รับซื้อไปแปรรูป แต่เนื่องจากความต้องการของตลาดนั้นมีความต้องการสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ซึ่งในการผลิตมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ในปัจจุบันนั้นเครื่องจักรที่มีอยู่ของ บริษัท TN Cassava ไม่สามารถผลิตได้ตามความต้องการของผู้ซื้อได้ ซึ่งจากปัญหาที่พบคือ เครื่องจักรในกระบวนการทำมันสำปะหลังแบบลูกเต๋านั่นยังมีประสิทธิภาพต่ำโดยเฉพาะในส่วนของชุดที่ทำให้มันสำปะหลังเป็นลูกเต๋า ทำให้เครื่องเกิดต้นทุนในการผลิตและซ่อมบำรุงสูงขึ้น ดังนั้นทางกลุ่มโครงงานจึงเกิดแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังการผลิตในการแปรรูปให้ได้ปริมาณมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

2) ทดสอบประสิทธิภาพและความสามารถของชุดกดและชุดมีด

1.3ขอบเขตการศึกษา

1) ขนาดชุดกดและชุดมีดสำหรับหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ขนาด 8x8 ตารางนิ้ว

2) เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่สามารถพัฒนาให้ใช้ได้กับมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ผลผลิตของมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่มีประสิทธิภาพและความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้น

2) สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและลดค่าซ่อมบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน (แสดงดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินการ	ปี/เดือน									
	พ.ศ.2561					พ.ศ.2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์										
2.ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
3.ศึกษาข้อมูลเครื่องต้นแบบ										
4.ออกแบบสร้างและพัฒนาชุดกดและชุดมีด										
5.ดำเนินการทดลองพร้อมเก็บข้อมูล										
6.ทดสอบการทำงานของชุดกดและชุดมีด										
7.เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา										
8.ทดสอบเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าพร้อมเก็บข้อมูล										
9.วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้พร้อมสรุปผล										
10.เขียนรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

1.6 งบประมาณ (แสดงดังตารางที่1.2)

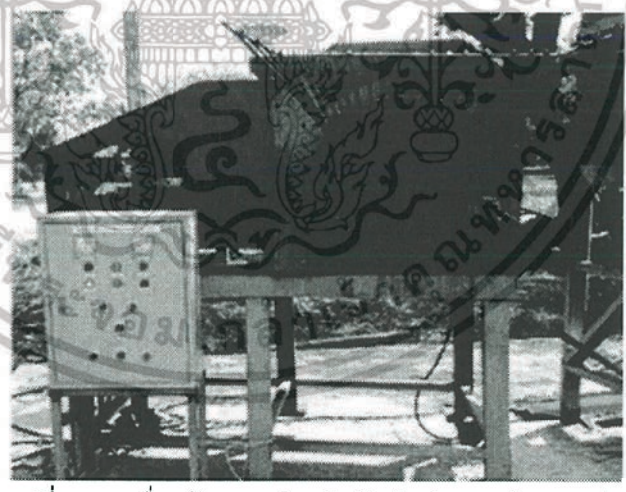
ค่าจัดซื้อวัสดุ และอุปกรณ์	8,000	บาท
ค่าจ้างในการสร้างเครื่อง	5,000	บาท
ค่าจัดทำปริญญานิพนธ์	2,000	บาท
รวม	15,000	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล (2558) พร้อมคณะได้วิจัยและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นแบบเตำ เพื่อพัฒนาต่อยอดการผลิตมันเส้นสะอาด จากกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากมันอบแห้งประสบปัญหาของเรื่องขนาดชิ้นมันที่นำไปอบแห้งไม่มีความสม่ำเสมอ ซึ่งปัญหาเกิดจากการสับมันสำปะหลังที่มีขนาดแตกต่างกันมากๆ ส่งผลให้การตากแห้งหรือทำให้แห้ง ใช้เวลาต่างกันมาก โดยมันชิ้นเล็กบางจะแห้งเร็วกว่ามันชิ้นใหญ่หนา ซึ่งถ้าตากมันชิ้นใหญ่ไม่แห้งจะ ทำให้เกิดเชื้อรา แบคทีเรีย ทำให้เน่าเสียทั้งกองที่เก็บมันเส้นไว้ แต่ถ้าเน้นทำแห้งมันชิ้นใหญ่จนแห้งสนิทดี จะทำให้มันชิ้นเล็กแห้งเกินไป ส่งผลให้น้ำหนักมันแห้งหายไปและขายได้น้ำหนักรวมน้อยทำให้ขาดทุนหรือได้กำไรน้อยไป จากทดลองพบว่าชิ้นมันสำปะหลังที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน จะเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งและลดเวลาการอบแห้งลงได้ และชิ้นขนาด 1x1 ซม. มีความเหมาะสมต่อการนำไปอบที่อุณหภูมิสูง และไม่ส่งผลต่อการเกิดเจล เนื่องจาก พื้นที่ที่สัมผัสลมร้อนมีมากทำให้การระบายความชื้นสามารถทำ ได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.1 เครื่องต้นแบบสำหรับสับมันสำปะหลังแบบเตำ

Mangesh Gaikwad (2015) กล่าวว่าในประเทศอินเดีย รัฐคุชราตนิยมนำมะม่วงดิบมาลดขนาดด้วยการตัดหรือหั่น เพื่อทำเป็นผักดอง ส่วนใหญ่การลดขนาดจะทำด้วยตัวเองและไม่ถูกสุขลักษณะ อีกทั้งขนาดที่ได้แต่ละครั้งไม่เท่ากัน ทางผู้จัดทำจึงพัฒนาเครื่องหั่นมะม่วงแบบลูกเตำ เพื่อแก้ปัญหาให้ถูกสุขลักษณะและช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงาน ลดแรงงานคน ซึ่งประสิทธิภาพใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดเป็นลูกเต๋า พบว่าสูงสุดอยู่ที่ 82.75 % ที่ 160 rpm โดยมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายขั้นต่ำที่ 17.19 % และมีความสามารถในการตัดเป็นลูกเต๋าอยู่ที่ 200 rpm ประมาณ 106.56 Kg/h

Grace,(1997) กล่าวว่าวิธีการแปรรูปผลผลิตหัวมันสำปะหลังควรทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังก่อน จึงทำการสับตากให้แห้งโดยเร็วทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้นและเชื้อรา

ดนัย (2537) จากการศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบต่างๆที่มีการทำวิจัย พบว่าลานผลิตมันเส้น ส่วนใหญ่ใช้เครื่องสับมันแบบจานหมุน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจานหั่น 36-40 นิ้ว ความเร็วรอบจานสับ ที่ 291 รอบต่อนาที ซึ่งเครื่องสับหัวมันสดขนาดเล็กความสามารถในการสับชั่วโมงละ 3-5 ตัน และนำไปตากแดด 2-3 วันจนแห้ง

วิจิตรา (2549) ได้ศึกษาเครื่องตัดแบบใบมีดหมุนในแนวตั้งฉากกับแนวแกน ที่ระยะห่าง ระหว่างใบมีด 3 ระยะ คือ 1.5, 1.8 และ 2.0 เซนติเมตร และกำหนดความเร็วรอบเพลาใบมีด 413-651 รอบ/นาทีพบว่า ทอร์กที่เกิดขึ้นในการตัดหัวมันขนาดใหญ่และหัวมันขนาดเล็กมีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 15.33-16.47 นิวตัน-เมตร และ 4.93-6.51 นิวตัน-เมตร ชิ้นมันที่มีขนาดที่ต้องการเมื่อตัดหัวมันขนาดใหญ่และหัวมันขนาดเล็กมีปริมาณมากที่สุดและน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 85.52-89.55% และ 79.92-87.92% เศษชิ้นมันและการสูญเสียมีปริมาณมากที่สุดอยู่ในช่วง 3.19-4.89% และ 0.85-1.63%

2.2 ทฤษฎีความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 พันธุ์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังทั่วโลกมีทั้งหมดประมาณ 150 พันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกันไป โดยสามารถจำแนกตามลักษณะภายนอก ปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิก หรืออายุการเก็บเกี่ยว

– การจำแนกพันธุ์โดยใช้คุณลักษณะภายนอกหลายอย่างช่วยในการจำแนก เช่น สีของใบอ่อน สีก้านใบ สีลำต้น ขนที่ยอดอ่อน ลักษณะทรงต้น หูใบ เช่น ในส่วนของก้านใบ พันธุ์ระยองจะมีก้านใบสีแดง พันธุ์เกษตรศาสตร์ จะมีก้านใบสีเขียวอ่อนหรือสีขาว และห้วยบงจะมีก้านสองสี เนื่องจากห้วยบงเป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ระยอง กับพันธุ์เกษตรศาสตร์ นอกจากนั้น รูปร่างของหัว สีของเปลือก และเนื้อจะแตกต่างกันออกไปตามพันธุ์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

– การจำแนกพันธุ์ตามปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิกซึ่งเป็นส่วนประกอบทางสรีรวิทยา โดยแบ่งมันสำปะหลังออกเป็น 2 ชนิดตามปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก คือ ชนิดขม(bitter cassava) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะมีปริมาณกรดโฮโดรไซยานิคสูง และ ชนิดหวาน (sweet cassava) มีปริมาณกรดโฮโดรไซยานิกต่ำ

– การจำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยว แบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ

Short season เป็นมันสำปะหลังที่จะเริ่มมีหัวแก่ พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 6 เดือน และไม่สามารถทิ้งไว้เกิน 9-11 เดือน ส่วนใหญ่เป็นพวก sweet cassava

Long season เป็นมันสำปะหลังที่จะแก่เมื่อมีอายุตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป และสามารถปล่อยทิ้งไว้ถึง 3-4 ปี ได้ ส่วนใหญ่เป็นพวก bitter cassava

สำหรับประเทศไทยมีพันธุ์ของมันสำปะหลังที่ปลูกทั่วไปอยู่ 3 กลุ่ม ได้แก่

1. พันธุ์ชนิดหวาน (Sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก (HCN)ต่ำ เป็นพันธุ์ที่ใช้หัวเพื่อการบริโภคได้โดยตรง รสไม่ขม มีทั้งชนิดเนื้อร่วน นุ่มและชนิดเนื้อเหนียวแน่น นิยมนำมาเชื่อม ปิ้ง เผา ไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ในประเทศไทยมีพันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ พันธุ์ห้านาที และ พันธุ์ระยอง 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงขึ้น พันธุ์นี้สังเกตได้ที่ก้านใบมีสีแดงเข้ม ทั้งก้าน และเปลือกของหัวขรุขระ มีสีน้ำตาล หัวมักมีสีออกเหลือง

2. พันธุ์ชนิดขม (Bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก (HCN)สูงกว่าชนิดแรก และมีรสขมเนื้อหยาบ ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวมันสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งสูง จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ การแปรรูปเป็นอาหารโดยใช้ความร้อน เช่น ตาก แดด เผาและต้ม สามารถจะทำให้ไซยาไนด์แตกตัวหมดไป ทำให้รสขมลดลงได้ ในประเทศไทย พันธุ์ชนิดขม เป็นพันธุ์ที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด เพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมนำไปแปรรูป เพื่อผลิตเป็นมันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมัน และผลิตเอทานอลแอลกอฮอล์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 1 ระยอง 3 ระยอง 5 ระยอง 7 ระยอง 9 ระยอง 60 ระยอง 72 ระยอง 90 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ พันธุ์ห้วยบง 60 ห้วยบง 80 ลักษณะประจำพันธุ์นี้ คือ ก้านใบมีสีเขียวอ่อนปนแดง หัวเรียบ มีสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พันธุ์ที่ใช้ประดับ ใช้ปลูกเป็นไม้ประดับตามสถานที่ต่างๆเพื่อความสวยงาม มีชื่อเรียกว่า มันด่าง เนื่องจากใบมีแถบสีขาวและเหลือง กระจายตามความยาวของใบ และยังมีพันธุ์มันป่า ใช้ปลูกเพื่อให้ร่มเงา เป็นไม้พุ่มขนาดกลางถึงใหญ่พบได้แบจังหวัดชลบุรี และระยอง

พันธุ์ของมันสำปะหลังที่เลือกใช้

พันธุ์ห้วยบง 60 เป็นมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นมา โดยความร่วมมือของนักวิชาการจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย พันธุ์นี้เกิดจากการผสมพันธุ์ ระหว่าง พันธุ์ระยอง 5 และเกษตรศาสตร์ 50 ตั้งแต่ พ.ศ.2534 ทำการคัดเลือกและทดสอบ ตั้งแต่ พ.ศ.2535-2544 มีคุณสมบัติดีเด่นที่ให้ผลผลิตสูงและเชื้อแป้งในหัวสูงด้วย และได้รับพระราชทานชื่อพันธุ์ว่า “ห้วยบง 60” จากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี องค์พระราชูปถัมภ์ของมูลนิธิฯ

<u>ลักษณะเด่น</u>

เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 5.7 ตัน/ไร่ และปริมาณแป้งสูง เฉลี่ยแป้งในหัวสด 25.5% แป้งมีความหนืดสูงเหมาะสำหรับนำไปใช้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้หลายชนิด ท่อนพันธุ์แข็งแรง เปอร์เซนต์ความงอกและความอยู่รอดสูง ต้านทานโรคใบจุดปานกลาง

2.2.2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

รากของมันสำปะหลัง (Cassava roots) รากของมันสำปะหลัง จำแนกออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. รากจริงที่เป็นแบบรากฝอย (adventitious root system)

รากจริงเป็นระบบรากแบบ adventitious root system รากที่งอกจากท่อนพันธุ์ (cutting) สามารถงอกได้จาก 3 ส่วนคือ รากจากส่วนเนื้อเยื่อ (root from cambium) รากจากส่วนตา (root from bud) และรากจากส่วนรอยหลุดร่วงของใบ (root from leaf scar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รากสะสมอาหาร หรือเรียกอีกชื่อว่า ส่วนหัว (Tuber)

ส่วนหัว (tuber) ของมันสำปะหลัง คือส่วนรากที่ขยายใหญ่เพื่อสะสมอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ในส่วน parenchyma cell รากสะสมอาหารมีปริมาณแป้งประมาณ 15 – 40 % มีกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) หรือ กรดพรัสซิก (prussic acid) ซึ่งมีพิษ จะมีอยู่มากในส่วนของเปลือกมากกว่าเนื้อของหัว

เมื่อตัดตามขวางของส่วนหัวหรือรากสะสมอาหาร จะพบส่วนประกอบดังนี้

1.เปลือกชั้นนอก (periderm) เป็นเยื่อชั้นนอกสุด (epidermal cell) และชั้นของคอร์ก (cork layer) รวมกัน มีสีขาว หรือสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่ หรือสีชมพู

2.เปลือกชั้นใน (cortical region) เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดเข้าไป เนื้อเยื่อชั้นนอกสุด เรียกกันว่า เปลือก (peel) ชั้นนี้มีสีขาว หนา 0.1-0.3 ซม. ประกอบด้วย เซลล์ cortical sclerenchyma, parenchyma และ phloem

3.ส่วนแกนกลางหรือส่วนสะสมแป้ง (central pith หรือ starchy flesh) จะประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma cell) กลุ่มท่อน้ำ (xylem bundle) และท่อน้ำยาง (latex tube) ส่วนนี้จะมีสีขาว

ลำต้น (Stem)

มันสำปะหลังเจริญเติบโตแบบเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นเป็นไม้เนื้อแข็ง (woody stem) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-6 ซม. สีของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนที่อยู่ใกล้ยอดมีสีเขียวและส่วนแก่ที่ต่ำลงมาอาจมีสีน้ำเงิน สีเหลือง หรือสีน้ำตาล ขนาดความสูงของต้น 1-5 เมตร ทั้งนี้มีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับการแตกกิ่ง โดยพันธุ์ที่ไม่แตกกิ่ง (unbranched) ต้นจะสูง ส่วนพันธุ์ที่แตกกิ่งต้นจะสูงน้อยกว่า การแตกกิ่งของมันสำปะหลังจะแตกออกเป็น 2 กิ่ง (dichotomous branching) หรือ 3 กิ่ง (trichotomous branching) กิ่งที่แตกออกจากลำต้นเรียกว่า กิ่งชุดแรก หรือ primary branch ส่วนกิ่งที่แตกออกจาก primary branch เรียกว่า กิ่งชุดสอง หรือ secondary branch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยบนลำต้นหรือกิ่งของมันสำปะหลังจะมีรอยหลุดร่วงของใบแก่เรียกว่า รอยแผลใบ หรือ leaf scar ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างก้านใบกับลำต้นหรือกิ่ง ระยะระหว่างรอยหลุดร่วงของใบ 2 รอยต่อกันเรียกว่า ความยาวของชั้น หรือ storey length ด้านบนเหนือรอยหลุดร่วงของใบจะมีตา (bud) ซึ่งจะงอกออกเป็นต้นใหม่เมื่อนำท่อนพันธุ์ไปปลูก

ผล (Fruits)

หลังการผสมเกสรแล้ว รังไข่ก็จะเจริญเติบโตขยายใหญ่กลายเป็นผลแบบ capsule ขนาดโตเต็มที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. ยาว 1-1.5 ซม. ภายในมี 3 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ด 1 เมล็ด หลังการผสมเกสรประมาณ 3 เดือน ผลจะสุกแก่เต็มที่ แล้วแตกดีดเมล็ดกระเด็นออกไป (dehiscent)

เมล็ด (Seed)

มีสีน้ำตาล และมีลายดำ รูปร่างยาวรี ขนาดกว้าง 3/4 ซม. หนา 1/2 ซม. ยาว 1 ซม. ตอนปลายของเมล็ดที่ติดกับผนังรังไข่ จะมีส่วน caruncle หรือมีตาอย่างน้อย 3 ตา

ใบ (Leaf)

ใบของมันสำปะหลังเป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) โดยการเกิดของใบจะหมุนเวียนรอบลำต้น (spiral) มีค่า phyllotaxy ค่อนข้างคงที่แน่นอนคือ 2/5 ก้านใบ (petiole) ต่อระหว่างลำต้นหรือกิ่งกับตัวแผ่นใบ ก้านใบอาจมีสีเขียวหรือสีแดง ตัวใบหรือแผ่นใบ (lamina) จะเว้าเป็นหยักลึกเป็นแบบ palmately lobe จำนวนหยักมีตั้งแต่ 3-9 หยัก ใบที่อยู่ใกล้ช่อดอกและยอดมักจะมีขนาดเล็กกว่า และมีจำนวนหยักน้อยกว่าใบด้านล่าง ๆ

รูปที่ 2.2 ลักษณะก้านและใบของต้นมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อดอก (Inflorescences)

มันสำปะหลังมีช่อดอกเป็นแบบ panicle มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious plant) แต่แยกกันอยู่คนละดอกในช่อเดียวกัน ช่อดอกจะเกิดตรงปลายยอดของลำต้นหรือกิ่ง หรืออาจเกิดตรงรอยต่อที่เกิดการแตกกิ่ง

ดอกตัวผู้ (staminate flower) มักเกิดบริเวณส่วนปลายหรือยอดของช่อดอก ไม่มีกลีบดอก (petal) มีกลีบรองดอก (sepal) 5 กลีบ มีเกสรตัวผู้ (stamen) 10 อัน แบ่งเป็น 2 วง ๆ ละ 5 อัน เกสรตัวผู้วงในมีก้านชูเกสรตัวผู้ (filament) สั้นกว่าวงนอก

ดอกตัวเมีย (pistillate flower) มีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ มักเกิดอยู่บริเวณส่วนโคนของช่อดอก ไม่มีกลีบดอก แต่มีกลีบรองดอก 5 กลีบ เช่นเดียวกับดอกตัวผู้ ตรงกลางจะเป็นเกสรตัวเมีย (pistil) รังไข่ (ovary) มี 3 carpel ภายในแต่ละ carpel มีไข่ (ovule) อยู่ 1 ใบ ในช่อดอกเดียวกันดอกตัวเมียจะบานก่อนดอกตัวผู้ 7-10 วัน

รูปที่ 2.3 ดอกตัวผู้

รูปที่ 2.4 ดอกตัวเมีย

2.2.3 ทฤษฎีทางกลศาสตร์

ความเค้น (Stress) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ความเค้นปกติ (Normal Stress)

เป็นความเข้มของแรง หรือแรงภายในต่อหน่วยพื้นที่ แรงกระทำ แรงภายในนั้นต้องกระทำตั้งได้ฉากกับพื้นที่ ใช้สัญลักษณ์ ว่า σ (Sigma) โดยใช้วิธี ใส่ค่า limit จะได้ว่า

$$\sigma = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \qquad \sigma = \frac{F}{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้

σ หมายถึง ความเค้นปกติ

F หมายถึง แรงลัพธ์ ภายในแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดนั้นๆ

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัด ณ ตำแหน่ง ที่แรงภายในกระทำ

2. ความเค้นเฉือน (Shear Stress)

ภายในนั้นจะขนานกับพื้นที่ ใช้สัญลักษณ์ว่า t (Tau) โดยใช้วิธี take limit จะได้ว่า

$$\tau = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F_t}{\Delta A} \qquad \tau = \frac{F}{A}$$

โดยกำหนดให้

t หมายถึง ความเค้นเฉือน ณ ตำแหน่งหน้าตัดนั้นๆ

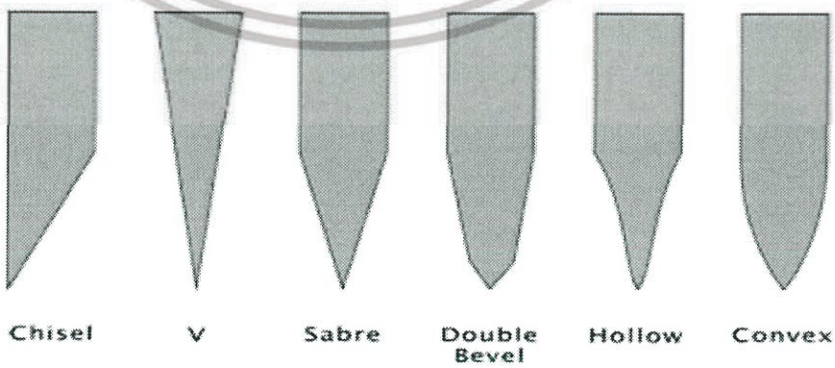
F หมายถึง แรงลัพธ์ภายในที่กระทำขนานกับหน้าตัดนั้นๆ

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดที่แรงลัพธ์ภายในกระทำ

2.2.4 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรและการส่งถ่ายกำลัง

คมมีด (Knive Edge Bevel)

คมมีดจะมีหลากหลายรูปแบบขึ้นกับลักษณะการลับคมนะครับ รูปแบบจะมีหลากหลายมาก แบ่งเป็นการลับด้านเดียว (Single Grind) และการลับสองด้าน (Double Grind) ซึ่งในแต่ละรูปแบบก็จะมีลักษณะการสอบของใบมีดแตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ต่างๆ อีกด้วย



รูปที่ 2.5 ลักษณะต่างๆของคมมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **ลับด้านเดียว (Single Grind)** มีดชนิดนี้จะลับให้ใบมีดสอบลงมาเพียงแค่ด้านเดียว อีกด้านปล่อยเรียบ เรียกกันว่า คมสิ่ว (Chisel Grind) พบในมีดทำครัวญี่ปุ่น คมมาก เนื่องจากองศาของคมมีดจะมีแค่ด้านเดียว และมีความแข็งแรงของคมมีดสูงมาจากเนื้อเหล็กบริเวณเหนือคม แต่รอยตัดจะเฉียง เหมาะกับงานซอยและแล่บาง มีให้เลือกสำหรับคนถนัดซ้ายและขวาแยกกัน

2. **ลับสองด้าน (Double Grind)** คือมีการลับมีดทั้งสองด้านให้ใบมีดสอบเข้าหากัน ซึ่งพบทั้งในมีดยุโรปและญี่ปุ่นทั่วไปในท้องตลาด โดยอาจลับคมทั้งสองด้านเท่ากัน (Symmetry) หรือไม่เท่ากัน (Asymmetry)

ลักษณะการสอบลงของใบมีดจะมีหลักๆ 4 ชนิดด้วยกัน

คมเรียบ (Flat) ใบมีดจะสอบลงมาเป็นเส้นตรงเรียบเป็นตัววี V แบ่งย่อยได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่สอบลงมาตั้งแต่สันมีดเลยเรียกว่า V Grind และแบบที่เริ่มสอบจากจุดกึ่งกลางใบมีด เรียกกว่า Sabre Grind เป็นมีดที่พบเห็นมากที่สุดในท้องตลาด มีความคมและความแข็งแรงดี

คมแบบสองชั้น (Double Bevel) ใบมีดจะสอบ (Primary Bevel) ลงมาตรงๆ แบบคมเรียบ แต่บริเวณปลายเหนือคมจะลับให้เป็นมุมที่กว้างขึ้น (Secondary Bevel) ทำให้คมน้อยกว่าแบบคมเรียบแต่จะให้ความแข็งแรงที่ดีกว่า

คมโค้งเว้า (Hollow /Concave) ใบมีดจะผอมๆ มีเอวโค้งเว้าสอบลงมาบรรจบกัน ทำให้คมมีมุมเล็กและบางมาก ทำให้คมมากตัดเฉือนได้ดี แต่คมจะไม่ค่อยแข็งแรง แต่ก็ลับได้ง่ายเหมือนกัน

คมโค้งนูน (Convex) ใบมีดจะอ้วนๆ โค้งนูนสอบลงมาบรรจบกัน ทำให้เนื้อเหล็กบริเวณเหนือคมมีมากกว่าชนิดอื่นๆ จึงแข็งแรงกว่าชนิดอื่นๆ มาก พร้อมกับมีความคมที่สูง แต่มีข้อเสียตรงที่ลับยากกว่าชนิดอื่นๆ

ทางผู้ผลิตยังมีการเพิ่มขีดความสามารถของมีดด้วยการเพิ่มร่อง (Fluted / Granton Edge) หรือใส่ฟันเข้าไปที่คมมีด (Serrated / Scalloped Edge) แทนที่คมเรียบๆ (Straight Edge) เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

– การเพิ่มร่อง (Fluted / Granton Edge) จะช่วยให้คมมีดบางลงตรงส่วนที่เป็นร่อง เพิ่มความแข็งแรงโดยรวมของมีด และมีช่องอากาศลดแรงเสียดทานทำให้หั่นอาหารได้ง่ายขึ้น

– การใส่ฟัน (Serrated / Scalloped Edge) ใช้สำหรับหั่นของที่มีเปลือกแข็งแต่เนื้อนิ่ม เช่น ขนมปัง แตงกวา มะเขือเทศ มะนาว หรือแม้แต่เนื้อที่แช่เย็นได้ง่ายขึ้น

สายพาน (Belts)

การส่งกำลังด้วยสายพานเป็นการส่งกำลังชนิดแบบอ่อนตัวได้ซึ่งมีข้อดีข้อเสียหลายอย่าง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการส่งกำลังแบบเฟืองและการส่งกำลังแบบโซ่ ข้อดีคือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาที่อยู่ห่างกันมาก ๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามข้อเสียของการขับด้วยสายพานก็มี คือ อัตราการทดที่ไม่แน่นอนนัก เนื่องจากการสลิป (Slip) และการครีฟ (Creep) ของ สายพานและต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลาหรือปรับแรงดึงในสายพานระหว่างการใช้งาน นอกจากนั้นยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้

หน้าที่สายพาน

สายพานในปัจจุบันใช้สำหรับส่งกำลัง การเคลื่อนที่และส่งถ่ายสิ่งของในรูปแบบต่าง ๆ สายพานถูกออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพของการทำงาน ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ สายพานวี สามารถส่งกำลังได้ดีกว่าสายพานแบบอื่น ๆ และมีราคาถูก ส่วนสายพานชนิดอื่นก็ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

ชนิดของสายพาน

ชนิดของสายพานเราสามารถแบ่งออกได้ 4 ชนิด ด้วยกันคือ

1. สายพานแบน (Flat Belts)

สายพานแบน เป็นอุปกรณ์อีกชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในการส่งถ่ายกำลังจากพูลเลย์ของเพลาขับไปยังพูลเลย์ของเพลาตาม (เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เราต้องการให้เกิดการทำงาน เช่น ปั๊มน้ำ หรือ พัดลม เป็นต้น) โดยกำลังที่ส่งถ่ายจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ความเร็วของสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความตึงของสายพานที่พาดผ่านชุดพูลเลย์

- มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลเลย์ (Arc of Contact) โดยเฉพาะพูลเลย์ตัวที่เล็กกว่า

- สภาพแวดล้อมที่สายพานนั้นถูกใช้งาน เช่น มีความชื้นอยู่ตลอดเวลา หรือมีไอแอมโมเนีย ซึ่งจะส่งผลให้อายุของสายพานสั้นลง

1.1 *สายพานแบนสามารถจะแบ่งชนิดออกได้เป็น 3 ชนิดคือ*

1. Light Drives เป็นสายพานที่ใช้กับงานเบาๆโดยที่ความเร็วของสายพานขณะใช้งานไม่เกิน 10m/s

2. Medium Drives เป็นสายพานที่ใช้กับงานหนักปานกลาง โดยที่ความเร็วของสายพานขณะใช้งานอยู่ระหว่าง 10-22m/s

3. Heavy Drives เป็นสายพานที่ใช้กับงานหนัก โดยที่ความเร็วของสายพานขณะใช้งาน สูงกว่า 22 m/s

2. สายพานวี (V – Belts)

สายพานส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องจักรกลตามโรงงานต่าง ๆ สามารถส่งกำลังได้ในตำแหน่งต่างๆ ได้ แต่ไม่สามารถส่งกำลังแบบไขว้เหมือนกับสายพานแบน ลักษณะการใช้งานของสายพานวี เช่น สายพานของเครื่องกลึง สายพานของรถไถนาเดินตาม เป็นต้น

3. สายพานกลม (Ropes Belts)

สายพานกลมที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม การส่งกำลังด้วยสายพานกลมจะให้ความยืดหยุ่นสูงมาก และสามารถปรับตั้งทิศทางการหมุนได้หลายทิศทางตามความต้องการของผู้ใช้ สายพานกลมทำจากพลาสติกโพลียูริเทน จะต้านทานน้ำ น้ำมัน จาระบี และน้ำมันเบนซิน ขณะการทำงานจะไม่เกิดเสียงดัง

4. สายพานไทมิ่ง (Timing Belts)

สายพานไทมิ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลียมคางหมู และจะมีฟันเฟืองตลอดความยาวของสายพาน เป็นสายพานที่มีแกนรับแรงด้วยลวดเหล็กกล้า หรือทำด้วยลวดไฟเบอร์ฝังอยู่ในยางเทียม ฟันของสายพานทำด้วยยางเทียม แต่สูตรประสมพิเศษเพื่อให้คงรูปพอดีกับล้อของพูลเลย์ ซึ่งจะหุ้มด้วยเส้นใยไนลอนเพื่อลดการสึกหรอ สายพานชนิดนี้สามารถงอตัวได้ดี ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับพูลเลย์ล้อเล็ก ๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรได้ เนื่องจากร่องสายพานจะมีขนาดเดียวกับบนร่องพูลเลย์ ทำให้เกิดการขบกันเหมือนฟันเฟือง จึงไม่เกิดการลื่นไถลขณะส่งกำลัง สามารถใช้เป็นตัวส่งกำลังงานในเครื่องยนต์ โดยเป็นตัวขับเฟืองเพลาข้อเหวี่ยงและเพลาราวลิ้น และจะไม่เสียงดังขณะทำงาน

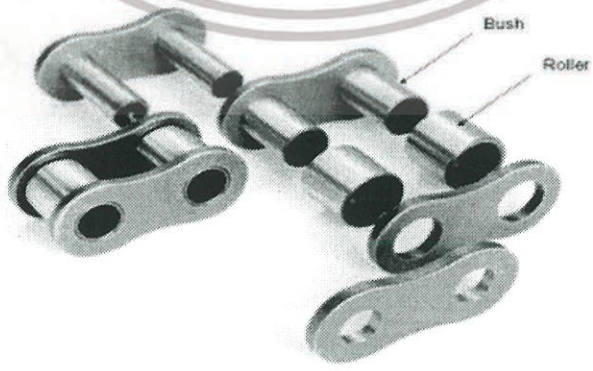
โซ่ส่งกำลัง (Chain Transmission)

โซ่ส่งกำลัง เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่มีการถ่ายทอดกำลังจากชุดขับ (ต้นกำลัง) ไปยังชุดตาม (รับกำลัง) เพื่อถ่ายทอดหรือส่งกำลังไปยังในการขับเคลื่อนชิ้นส่วนหรือตัวเครื่องจักรโซ่ส่งกำลัง จะต้องมีการทำงานคู่กับจานโซ่ (Sprockets) ซึ่งจะยึดอยู่กับเพลาด้านขับและตาม แสดงดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของโซ่ส่งกำลัง

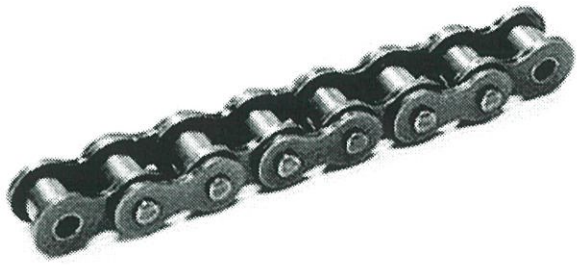
ประเภทของโซ่ส่งกำลัง (Type of Chain Transmission) สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของโครงสร้างของโซ่ได้ดังนี้

1.โซ่ลูกกลิ้ง (Roller Chain) มีส่วนประกอบคือ สลัก (Bearing pin) , ปลอกสลัก(Bush) , ลูกกลิ้ง(Roller) ,แผ่นประกบด้านใน(Inner Plate) และแผ่นประกบด้านนอก (Outer Plate) แสดงดังรูปที่ 2. ซึ่งโซ่ลูกกลิ้งนี้ยังแบ่งออกได้อีก 3 ชนิด (รายละเอียดขอกล่าวในครั้งต่อไป)



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของโซ่ลูกกลิ้ง (Roller Chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



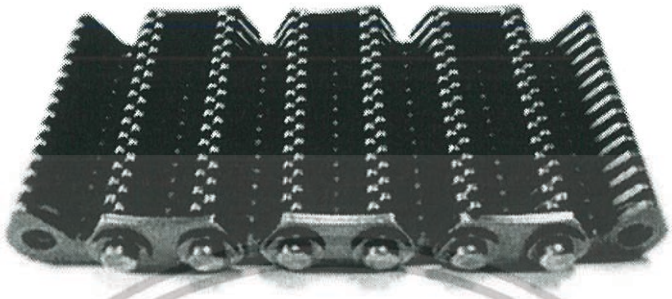
รูปที่ 2.8 แสดงโซ่ลูกกลิ้ง (Roller Chain)

2.โซ่ปลอก (Leaf Chain) มีส่วนประกอบคล้ายกับโซ่ลูกกลิ้ง (Roller Chain) เพียงแต่จะมีลูกกลิ้ง(Roller)แสดงดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 แสดง โซ่ปลอก (Leaf Chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.โซ่ฟันเฟือง (Chain Sprockets Gear) มีส่วนประกอบคือแผ่นประกบคล้ายเฟือง โดยที่มีร่องบาก ยึดด้วยสลักแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงโซ่ฟันเฟือง (Chain Sprockets Gear)

เฟือง (Gear) ส่งกำลัง

เฟือง (Gear) อุตสาหกรรม ใช้สำหรับการลงกำลังในลักษณะของแรงบิด โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทุกชนิด

เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน ใช้ในการส่งกำลังในระยะสั้น ใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque)โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี

โดยการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป เป็นอุปกรณ์ที่มีความแข็งแรงสูงและมีความปลอดภัย

เฟือง (Gear) อุตสาหกรรม แบ่งได้ 8 ประเภท

1.เฟืองตรง (Spur Gears) เป็นเฟืองที่มีใช้งานกันมากที่สุดในบรรดาเฟืองชนิดต่าง ๆ เป็นเฟืองที่มีฟันขนานกับแกนหมุนและใช้ในการส่งกำลังการหมุนจากเพลาหนึ่ง

ไปยังอีกเพลาหนึ่ง อัตราทด (Ratio) ของเฟืองแต่ละตัว เฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component)

2.เฟืองสะพาน (Rack Gears) หน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เฟืองสะพาน (Rack) มีลักษณะเป็นแท่งยาวตรง สามารถมุมกลับลำตัวได้ประมาณ 90 องศา และมีฟันเฟือง

อยู่ด้านบนขบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟือง (Gear)

3.เฟืองวงแหวน (Internal Gears) เป็นเฟืองตรงชนิดหนึ่ง มีรูปร่างลักษณะกลมเช่นเดียวกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านบนของวงกลม และต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่มีขนาด

เล็กกว่าขบอยู่ภายในเฟืองวงแหวน สำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) โดยที่ถ้าหากเฟือง

ตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดก็จะมากและถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดก็จะน้อย โดยปกติของเฟืองวงแหวนแล้วเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear)

ที่อยู่ด้านในจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ

4.เฟืองเฉียง (Helical Gears) เป็นเฟืองส่งกำลังที่มีฟันเฉียงทำมุมกับแกนหมุน คล้ายเฟืองฟันตรง แต่มีเสียงที่เกิดจากการทำงานเบากว่าเฟืองฟันตรง ลักษณะแนวของฟันเฟือง

จะไม่ขนานกับเพลาโดยจะทำมุมเฉียงไปเป็นมุมที่ต้องการ โดยอาจจะเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางขวาขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการในการใช้งาน

5.เฟืองเฉียงก้างปลา (Herringbone Gears) เป็นเฟืองที่มีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรงแต่ฟันของเฟืองจะเอียงสลับกันเป็นฟันปลา ทำให้เฟืองก้างปลาสามารถทำงานรับภาระ

(Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง ในขณะเดียวกันแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะทำงานก็ยังคงน้อยเมื่อเทียบกับเฟืองตรง

6.เฟืองดอกจอก (Bevel Gears) เป็นเฟืองที่มีการตัดฟันเฟือง ใช้สำหรับส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่ตัดกัน มุมระหว่างเพลาทั้งสองเป็นมุมระหว่างเส้นศูนย์กลาง

ร่วมที่ตัดกัน ของฟันเฟือง มุมระหว่างเพลาประมาณ 90องศา แต่ในหลาย ๆ การใช้งานของเฟืองชนิดนี้ อาจจะต้องการมุมระหว่างเพลาที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่ามุม 90องศา ก็ได้

7.เฟืองตัวหนอน (Worm Gears) เป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) และเฟือง (Gear) เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน แนวเพลาขับ (Worm Shaft)

และเพลาตาม (Worm Wheel Shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90 องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนจะเงียบและมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังจากเฟืองขับไปยังเฟืองตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการลื่นไถล (Sliding) ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองตัวหนอนนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวฟันเฟืองจะ

มากกว่าเฟืองแบบเฟืองตรงหรือแบบเฟืองเฉียง

8.เฟืองเกลียวสกรู (Spiral Gears) เป็นเฟืองเกลียวที่ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา การใช้งานเฟืองชนิดนี้ส่วนมากจะใช้ในการเปลี่ยนทิศทางในการส่งกำลังของเพลา

คำจำกัดความส่วนต่างๆของเฟือง

วงกลมพิตช์ (Pitch circle) คือ แนววงกลมทางทฤษฎีที่เฟืองทั้งคู่สัมผัสซึ่งกัน และกันใช้เป็นเส้นแบ่งฟันเฟืองเป็นส่วนของยอดฟันและโคนฟัน ดังแสดงในรูปที่ 7.37

เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ (Pitch diameter) d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ใช้ในการบอกขนาดและการคำนวณเกี่ยวกับเฟือง

ระยะพิตช์ในแนวเส้นรอบวง (Circular picth) P คือ ระยะที่วัดบนเส้นรอบวงกลมพิตช์จากจุดหนึ่งบนฟันไปยังจุดเดียวกันของฟันถัดไป มีค่าเท่ากับความหนาของฟันบวกความ กว้างของร่องฟัน

ความสูงยอดฟัน (Addendum) คือ ระยะในแนวรัศมีวัดจากวงกลมพิตช์ถึงปลายฟัน

ความสูงโคนฟัน (Dedendum) คือ ระยะในแนวรัศมีวัดจากวงกลมพิตช์ถึงโคนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน (Outside diameter) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากยอด ฟันข้างหนึ่งผ่านจุดศูนย์กลางไปยังยอดฟันด้านตรงข้าม

เส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน (Root diameter) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากโคน ฟันข้างหนึ่งผ่านจุดศูนย์กลางไปยังโคนฟันด้านตรงข้าม

ความสูงของฟันเฟือง (Whole depth) เป็นผลรวมของความสูงยอดฟันกับความสูงโคนฟัน

ความสูงใช้งาน (Working depth) คือ ความลึกของฟันเฟืองที่ขบเข้าไปในช่องว่าง ระหว่างฟันจะเท่ากับสองเท่าของความสูงยอดฟัน หรือ ความสูงของฟันเฟืองลบช่องว่าง

ช่องว่าง (Clearance) คือ ช่องว่างระหว่างยอดฟันกับระยะตาสูดของร่องฟันซึ่งมีค่าเท่ากับ ความสูงโคนฟันลบด้วยความสูงยอดฟัน

วงกลมช่องว่าง (Clearance circle) เป็นวงกลมที่สัมผัสกับวงกลมยอดฟันของเฟืองที่มาขบกัน

ความหลวม (Backlash) เป็นระยะที่ร่องฟันมีค่ามากกว่าความหนาของฟันที่มาขบกันวัดตามแนววงกลมพิตช์

ความหนาของฟันเฟือง (Circular thickness) ความหนาของฟันที่วัดตามความยาวของวงกลมพิตช์

ความหนาคอร์ด (Chordal thickness) ความหนาของฟันเฟืองวัดตามความยาวคอร์ดของวงกลมพิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงคอร์ด (Chordal addendum) คือ ระยะความสูงยอดฟันวัดจากคอร์ดของวงกลมพิตช์ไปยังยอดฟัน

ความหนาของฟัน (Face width) ความหนาของฟันเฟืองวัดในแนวแกนเพลา

แฟลงค์ (Flank) ผิวค้านข้างของฟันเฟืออยู่ระหว่างวงกลมพิตช์กับวงกลมโคนฟัน

พื้นที่ปลายฟัน (Top land) พื้นที่ส่วนปลายฟันเฟือง

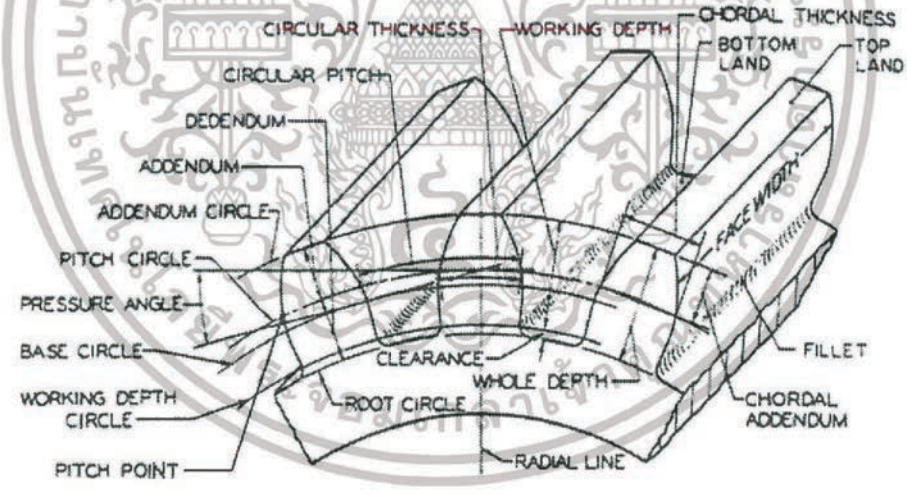
พื้นที่โคนฟัน (Bottomland) พื้นที่ส่วนโคนฟันเฟือง

ชุดพิตช์ (Pitch point) เป็นจุดสัมผัสของวงกลมพิตช์ของเฟืองที่ขบกัน

มุมกดเฟือง (Pressure angle) มุมที่เกิดขึ้นจากทิศทางการขบของเฟืองกับส่วนโค้งอินโวลูทของฟันเฟือง อินโวลูท ซึ่งจะทำมุมกดดันกับเค้นตั้งฉากกับแนวจุดศูนย์กลางที่จุดพิตช์

แนวกดดัน (Pressure line) เป็นแนวซึ่งแรงกดดันของเฟืองตัวหนึ่งกระทำผ่านจุดพิตช์ไปยังเฟืองอีกตัวหนึ่ง

วงกลมฐาน (Base circle) เป็นวงกลมที่สัมผัสกับแนวกดดันเป็นวงกลมที่ใช้ทำส่วนโค้งอินโวลูทในการเขียนแบบเฟือง



รูปที่ 2.11 คำจำกัดความส่วนต่างๆ ของเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูล (Module) m คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดเน้นผ่านศูนย์กลางพิตช์หารจำนวนฟันโดยมีค่าเป็นจำนวนเต็มหรือทศนิยม โมดูลเป็นหน่วยบอกขนาดของเฟืองในระบบ SI เฟืองที่ มีค่าโมดูลมากจะมีขนาดฟันใหญ่ เฟืองที่มีค่าโมดูลน้อยจะมีขนาดฟันเล็ก

ซึ่งมีสูตร คือ $m=\frac{D}{N}$

โดย D คือ โมดูลเฟือง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

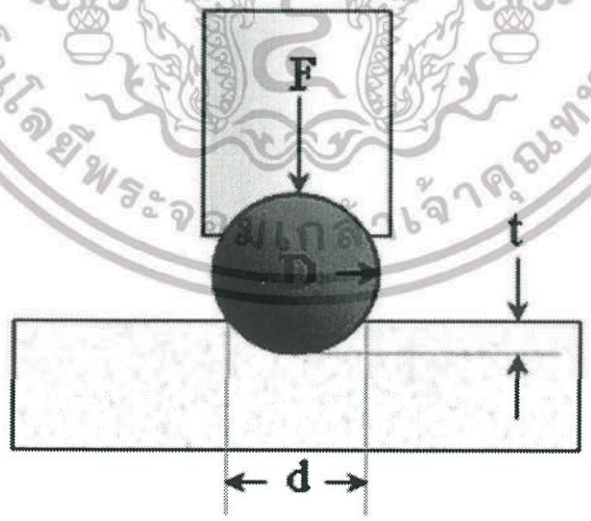
M คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

N คือ จำนวนฟันเฟือง

การวัดความแข็ง (Hardness Test)

ค่าความแข็งของวัสดุถือได้ว่าเป็นสมบัติเชิงกลพื้นฐานที่สามารถชี้ให้เห็นคุณสมบัติโดยรวมของวัสดุนั้นได้ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความเหนียว การทนต่อแรงเสียดสีและการสึกหรอ เป็นต้น ปัจจุบันการวัดค่าความแข็งสามารถกระทำได้ง่าย เนื่องจากอุปกรณ์วัดความแข็งล้วนแต่เป็นระบบอัตโนมัติ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ การเลือกวิธีทดสอบให้เหมาะสมกับงานที่จะทดสอบ เพราะว่าวิธีทดสอบความแข็งนั้นมีหลายประเภท สำหรับวิธีการวัดความแข็งที่นิยมใช้ในงานโลหะนั้นมี 3 วิธี คือ

การทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

หลักการ การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ อาศัยการกดของหัวกดทรงกลมที่ผลิตจากเหล็กกล้าชุบแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D ลงบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด F ดังรูป โดยคงค่าแรงกดเป็นระยะเวลา 10 ถึง 15 วินาทีสำหรับวัสดุประเภทเหล็กหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้า และคงค่าแรงเป็นระยะเวลา 30 วินาทีสำหรับโลหะอ่อน เช่น อะลูมิเนียม และทองเหลือง เป็นต้น ทำให้เกิดรอยกดที่มีความลึก t และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดเฉลี่ย d ซึ่งได้จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดในแนวตั้งฉากกันสองค่าแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยเครื่องมือวัดต้องมีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ค่าความแข็งคำนวณได้จากแรงกดหารด้วยพื้นที่รอยกด นั่นคือ

$$\text{ค่าความแข็งบริเนลล์} = \frac{F}{A} = \frac{0.102F}{0.5\pi D[D - \sqrt{(D^2 - d^2)}]}$$

แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแข็งจากสูตรคำนวณ เพราะสามารถนำความยาวเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด (d) และขนาดแรงกดที่ใช้เทียบกับตารางค่าความแข็งที่ได้คำนวณไว้แล้วได้โดยตรง

โดยทั่วไปลูกบอลที่ใช้เป็นหัวกดมีขนาด 10 มิลลิเมตร และสามารถใช้แรงกดได้ตั้งแต่ 500 กิโลกรัม สูงสุดถึง 3,000 กิโลกรัม หน่วยความแข็งของการทดสอบแบบบริเนลล์คือ BHN หรือ HB

ข้อดี การวัดค่าความแข็งแบบบริเนลล์จะให้รอยกดที่กว้างและลึก เพราะหัวกดมีขนาดใหญ่ ดังนั้นความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานทดสอบและความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างทางจุลภาคจึงมีผลน้อยต่อค่าการทดสอบ หรือกล่าวได้ว่าให้ค่าความแข็งเฉลี่ยของวัสดุที่ทดสอบ

ข้อเสีย ค่าความแข็งได้มาจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด ฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดจากการอ่านค่าของผู้ทำการทดสอบได้ นอกจากนี้รอยกดมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถทำการทดสอบกับชิ้นงานขนาดเล็กหรือชิ้นงานที่บางมากๆได้

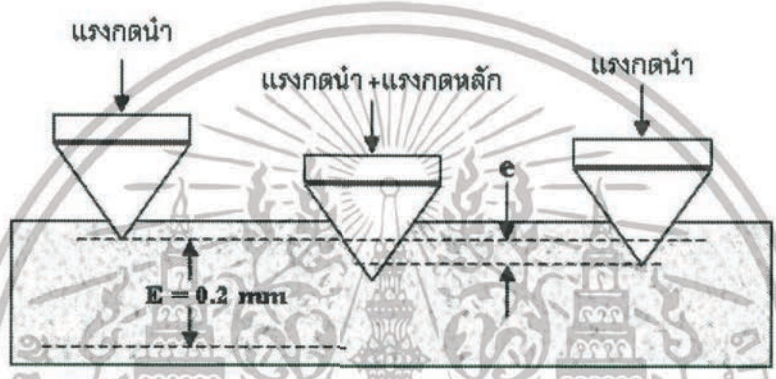
ข้อจำกัด

- การทดสอบแบบบริเนลล์ไม่ควรใช้วัดความแข็งเกิน 450 HB เพราะค่าความแข็งที่สูงกว่านี้อาจจะทำให้เกิดการเสียรูปของหัวกด ทำให้รอยกดใหญ่กว่าความเป็นจริงหรือความแข็งที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง
- ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกดหรือระยะห่างของจุดศูนย์กลางรอยกดจากขอบของชิ้นงานควรมีค่าไม่น้อยกว่าสองเท่าของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรอยกด (2d)
- ความหนาของชิ้นงานทดสอบควรมีค่ามากกว่าสิบเท่าของความลึกรอยกด (10t) หรืออาจพิจารณาจากแรงกดให้หมาะสมโดยไม่ทำให้เกิดการเสียรูปทางด้านหลังของชิ้นงาน
- ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรอยกด (d) ควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.2D – 0.7D หรือประมาณ 2 – 7 มิลลิเมตรสำหรับลูกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพราะหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยกดเล็กเกินไปจะทำให้ขอบของรอยกดไม่คมชัด ส่งผลให้วัดความยาวได้ยากและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการอ่านค่าความยาวจะมาก ในทางกลับกัน หากรอยกดมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดการกดตัวของเนื้อชิ้นงานด้านข้างมาก

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซีใช้หัวกดเพชรทรงกรวย มีมุมปลาย 120° ในการทดสอบเริ่มต้นจะให้แรงกดนำ (Minor load) 10 kgf กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ จากนั้นเพิ่มแรงกดหลัก (Major load) อีก 140 kgf ค่าความแข็งจะถูกอ่านเมื่อนำแรงกดหลักออก ซึ่งเนื้อชิ้นงานที่ถูกกดจะคืนตัวกลับในปริมาณหนึ่ง และคงเหลือเพียงแรงกดนำ ซึ่งปลายหัวกดจะอยู่ ณ ตำแหน่งที่เกิดจากการยุบตัวอย่างถาวรของชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์

ในการคิดเป็นค่าความแข็งนั้น ถ้าให้ E คือค่าคงที่ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 100 ส่วน ส่วนละ 0.002 mm และ e คือความลึกที่เกิดจากการเสียรูปอย่างถาวรจากการกด ก็จะสามารถคำนวณค่าความแข็งได้ดังนี้

$$\text{ความแข็งรอกเวลล์ซี} = 100 - \frac{e}{0.002} HRC$$

ฉะนั้นวัสดุที่ถูกกดเข้าไปลึกมากกว่า 0.2 mm หรือวัสดุอ่อน จะไม่สามารถทำการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลซีได้ ในกรณีนี้ควรใช้การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บีหรือเอแทน

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บีมีขั้นตอนเหมือนกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี แต่ใช้หัวกดที่ทำจากลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/16 นิ้ว หรือ 1.59 มม. ใช้แรงกดหลัก 90 kgf เหมาะกับการทดสอบวัสดุอ่อน เพราะมีการยืดช่วงของ E เป็น 0.26 มม. และแบ่งเป็น 130 ส่วน ส่วนละ 0.002 มม. ฉะนั้นค่าความแข็งจึงคำนวณได้จาก

$$\text{ความแข็งรอกเวลล์บี} = 130 - \frac{e}{0.002} HRB$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์เอจะกระทำเช่นเดียวกันกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี คือใช้หัวกดเพชรทรงกรวย และกำหนดระยะ E = 0.2 มม. แต่ใช้แรงกดหลัก 60 kgf เพื่อให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุที่อ่อนลง

ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแข็ง เพราะจะมีเข็มชี้บอกค่าความแข็ง หรือบางเครื่องเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถแสดงค่าความแข็งเป็นตัวเลขโดยตรง

ข้อดี เป็นการทดสอบค่าความแข็งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถทดสอบวัสดุได้ครอบคลุมเกือบทุกชนิด การทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็ว มีความคลาดเคลื่อนน้อยเพราะสามารถอ่านค่าความแข็งได้โดยตรงจากเครื่องทดสอบ สามารถใช้ชิ้นงานบางลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบบริเนลล์ เพราะหัวกดมีขนาดเล็กกว่า

ข้อเสีย ต้องเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบให้เรียบ ไม่มีรอยขีดข่วน ผิวต้องแห้งและสะอาด เพราะผิวชิ้นงานทดสอบจะมีผลต่อค่าความแข็งอย่างมากเนื่องจากรอยกดมีขนาดเล็กและไม่ลึกมาก (รอยกดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 0.2 – 1 มิลลิเมตร)

ข้อจำกัด

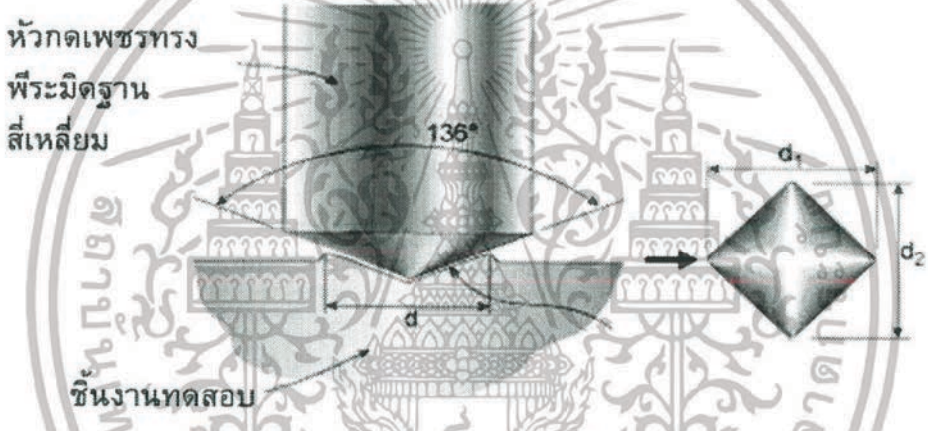
- ความหนาของชิ้นงานทดสอบต้องมีไม่น้อยกว่า 10 เท่าของความลึกรอยกด หรือมีมากพอที่ไม่ทำให้ผิวด้านหลังของชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียรูปทรง
- ระยะห่างของจุดศูนย์กลางรอยกดกับจุดศูนย์กลางรอยกดถัดไปหรือจากขอบของชิ้นงานทดสอบควรมีระยะไม่น้อยกว่า 3 มม.
- การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี เหมาะกับการทดสอบวัสดุแข็ง เช่น เหล็กกล้าชุบแข็ง ค่าความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแบบรอกเวลล์ซีอยู่ในช่วง 20 – 67 HRC
- การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บี เหมาะกับการทดสอบโลหะอ่อน เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ อลูมิเนียม และทองแดง เป็นต้น ค่าความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแบบรอกเวลล์บีอยู่ในช่วง 35 – 100 HRB

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์เอก็มีขั้นตอนเหมือนกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี แต่จะใช้แรงกดหลักต่ำกว่า คือ 60 kgf ด้วยน้ำหนักกดที่น้อยกว่านี้เองทำให้รอยกดของการทดสอบกับวัสดุเดียวกันตื้นกว่าเมื่อเทียบกับรอกเวลล์ซีและจึงสามารถวัดความแข็งของวัสดุได้ในช่วงที่กว้างกว่าตั้งแต่โลหะอ่อนจนถึงเซรามิกส์ซึ่งมีความแข็งสูง แต่ข้อเสียในทางกลับกันก็คือความละเอียดในการแจกแจงระดับความแข็งจะหยาบกว่าเล็กน้อย เช่น ความแข็งในระดับ 28 และ 30 รอกเวลล์ซี อาจวัดแล้วได้ค่าไม่ต่างกันถ้าวัดด้วยรอกเวลล์เอ อย่างไรก็ตามรอกเวลล์เอสามารถใช้ทดสอบความแข็งของชิ้นงานบางที่ความหนาต่ำสุดน้อยกว่ากรณีรอกเวลล์ซีทั้งนี้ขึ้นกับค่าความแข็งของวัสดุด้วย ถ้าความแข็งมากรอยกดจะตื้นและความหนาต่ำสุดที่จะทดสอบได้ก็จะมีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)

เป็นการวัดค่าความแข็งที่ใช้หัวกดเพชรทรงพีรามิดมุม 136° ฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด F ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 – 120 kgf โดยกดลงตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน การเคลื่อนที่ของหัวกดที่กดลงบนชิ้นงานจะใช้เวลา 15 วินาที แต่จะคงค่าแรงกดไว้อีกระยะหนึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุ เช่น เหล็กกล้าจะคงแรงกดไว้ประมาณ 10 วินาที ในขณะที่วัสดุอ่อนจะคงแรงกดไว้นานกว่า เมื่อหัวกดถูกยกขึ้น รอยกดที่เกิดขึ้นจะถูกวัดขนาดโดยการวัดเส้นทแยงมุม d1 และ d2 ด้วยความละเอียดการวัด 0.002 มม. ดังรูป ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุม (d) จะถูกนำไปคำนวณค่าความแข็งดังนี้



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส

$$\text{ความแข็งวิกเกอร์} = \frac{\text{แรงกด}}{\text{พื้นที่ผิวกด}}$$

$$= \frac{0.102F \times 2\cos 22°}{d^2}$$

$$= \frac{0.189F}{d^2}$$

เช่นเดียวกับการวัดความแข็งแบบบริเนลล์ ค่าความแข็งจะถูกคำนวณไว้แล้วที่ความยาวรอยกดและแรงกดขนาดต่างๆ ในรูปของตาราง หรืออาจมีการแสดงค่าความแข็งด้วยระบบอัตโนมัติเป็นตัวเลขจากเครื่องทดสอบโดยตรง หน่วยความแข็งคือ HV หรือ VHN

ข้อดี หัวกดมีขนาดเล็กและแรงที่ใช้กดต่ำ รอยกดจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าเกรนของโลหะ จึงสามารถวัดความแข็งได้ถึงระดับโครงสร้างจุลภาค เหมาะกับงานทดสอบที่ต้องการความละเอียดของค่าความแข็งสูง สามารถทดสอบได้ทั้งวัสดุอ่อนและวัสดุแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย ต้องเตรียมผิวชิ้นงานให้เรียบและสะอาดมากในระดับที่สามารถส่องดูผิวเรียบภายใต้กำลังขยาย 40X ได้ ต้องไม่มีคราบน้ำมัน รอยขีดข่วน หรือฟิล์มออกไซด์ อยู่บนผิวชิ้นงานทดสอบ

ข้อจำกัด

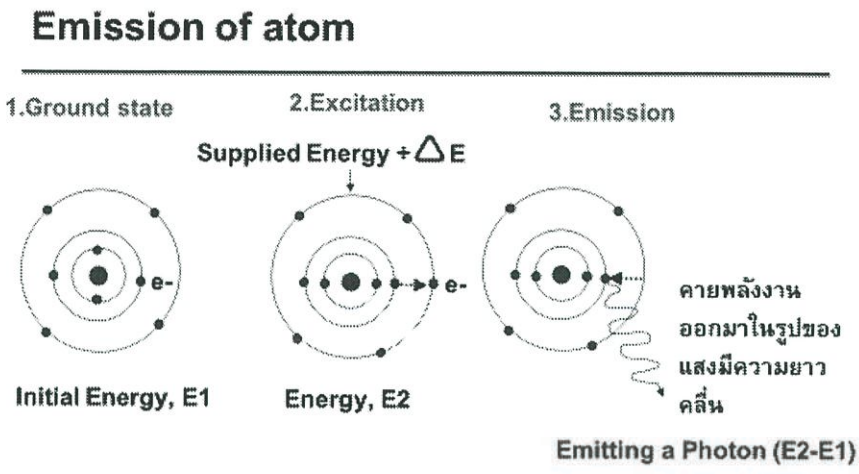
- ความหนาของชิ้นงานทดสอบไม่ควรน้อยกว่า 1.2 เท่าของเส้นทแยงมุมรอยกด
- ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางรอยกดกับขอบชิ้นงานทดสอบหรือขอบของรอยกด ควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 3 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด

เครื่อง Optical Emission Spectrometer

รูปที่ 2.15 เครื่อง Optical Emission Spectrometer

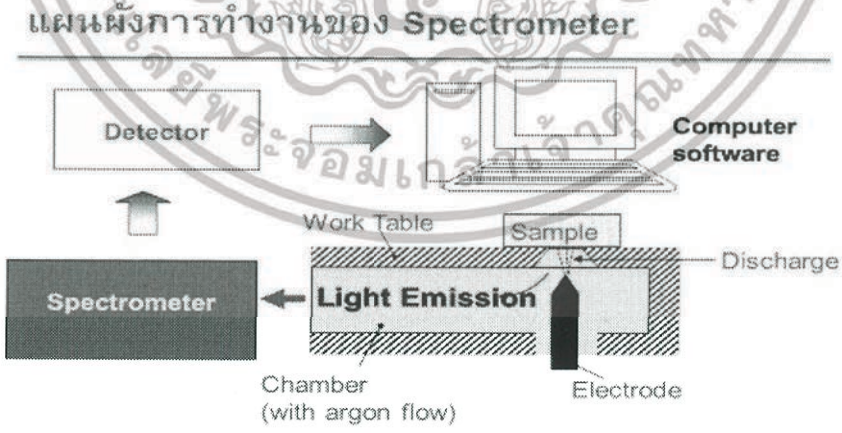
เป็นการหาชนิด และปริมาณของธาตุ โดยใช้หลักการการกำเนิด X-ray โดยที่จะเป็นการวิเคราะห์พลังงานของ X-ray ที่ได้จากผิวชิ้นงาน สามารถวิเคราะห์ 30 ธาตุได้ในเวลา 1-2 นาที เมื่ออิเลคโตรดได้รับพลังงานไฟฟ้าจะให้กำเนิดลำอิเลคตรอน ด้วยกำลังประมาณ 800-100 V และตกกระทบผิวชิ้นงาน ผ่านบรรยากาศของแกสอาร์กอน อิเลคตรอนในอะตอมของชิ้นงานที่มีระดับพลังงานต่ำสุด (เรียกว่า ground state) จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานสูงขึ้น (เรียกว่า Excited state) อะตอมที่อยู่ในสภาวะนี้จะไม่เสถียร จึงพยายามลดพลังงานลงมา จึงปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของแสง (Light Emission) หรือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของเครื่อง Optical Emission Spectrometer

แสงที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังระบบแยกความยาวคลื่นแสง ซึ่งเรียกว่า Spectrometer ซึ่งมีลักษณะเป็นเลนส์นูน และปริซึมสามเหลี่ยม (ผลึกของ silicon or Lithium) เพื่อให้เกิดการหักเหของแสง เป็น Spectrum จากนั้นแสงที่ถูกแยกความยาวคลื่นแล้วจะถูกส่งไปยัง Detector เพื่อเปลี่ยนความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และระบบวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าให้เป็นความเข้มข้นของธาตุ โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณของมาตรฐานที่เราทราบความเข้มข้นที่ได้ทำการวิเคราะห์ และบันทึกไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 2.17 แผนผังการทำงานของเครื่อง Optical Emission Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเหล็กกล้า (Steel)

คือ เหล็กที่ผ่านการเพิ่มธาตุโลหะอื่นๆเข้าไปเพื่อปรับคุณสมบัติของเหล็กเป็นโลหะผสมมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.2-2.04% คาร์บอนเป็นวัสดุผสมที่ลดต้นทุน แต่มีการใช้ธาตุอื่นๆผสมด้วย เช่น แมงกานีส โครเมียม วานาเดียม ทังสเตน คาร์บอน และอื่นๆ การเปลี่ยนปริมาณธาตุโลหะเป็นตัวกำหนดคุณภาพทั้งด้าน ความแข็ง การขึ้นรูป การรีด ซึ่งส่งผลกับระดับความตึงของเหล็ก

เหล็กกล้าที่มีโครงสร้างแกรไฟต์แบบกลมจะมีความอ่อนตัวสูง เหล็กกล้าที่มีการเพิ่มคาร์บอนจะแข็งแกร่ง และมีความแข็งมากกว่าเหล็ก แต่จะเปราะ ค่าสูงสุดในการละลายของคาร์บอนในเหล็กเป็น 2.14% เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 1149°C ในการอบใช้อุณหภูมิประมาณ 950°C ความเข้มข้นที่สูง หรืออุณหภูมิต่ำ จะทำให้เหล็กเกิดลักษณะเป็นซีเมนต์ โลหะผสมที่มีคาร์บอนมาก จะเป็นเหล็กที่มีความแข็งมาก เพราะมีจุดหลอมเหลวต่ำ เหล็กกล้าต่างจากเหล็กบริสุทธิ์ตรงที่มีอะตอมของธาตุอื่นน้อยมาก แต่มีกากแร่ 1-3% โดยน้ำหนักในรูปของอนุภาคอยู่ในทิศทางหนึ่ง ซึ่งมีความทนทานกว่าเหล็กกล้า และโค้งงอง่ายกว่า

เหล็กกล้าแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ

1. เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) คือ เหล็กกล้าที่เพิ่มธาตุคาร์บอนเข้าไป เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้กับเหล็ก

2. เหล็กกล้าประสม (Alloy Steel) มีชื่อเรียก ที่เกิดจากการผสมธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปดังนี้

- 2 ชนิด เรียกว่า ไบนารี่อัลลอย (Binary Alloy)
- 3 ชนิด เรียกว่า เทอร์นารี่อัลลอย (Ternary Alloy)
- 4 ชนิด เรียกว่า ควอเทอร์นารี่อัลลอย (Quaternary Alloy)

ประเภทของเหล็กกล้า

1. เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลักที่ไม่เกิน 1.7% และมีธาตุอื่นผสม เช่น ซิลิคอน ฟอสฟอรัส กำมะถัน

แมงกานีส ในปริมาณน้อย จะติดมากับเนื้อเหล็กตั้งแต่เป็นสินแร่ เหล็กชนิดนี้เป็นวัสดุช่างชนิดเดียว ที่มีคุณสมบัติทางความแข็งแรง (Strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความอ่อนตัว (Ductility) ที่เปลี่ยนแปลงได้กว้างมากตามปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก ทำให้เหมาะที่จะเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของลักษณะงานบางครั้งที่เรียกว่า "Mild Steel"

เหล็กกล้าคาร์บอนแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เป็นเหล็กเหนียวแต่ไม่แข็งแรงนัก สามารถนำไปกลึง กัด ไส เจาะได้ง่าย เนื่องจากเป็นเหล็กที่อ่อน สามารถรีดหรือตีเป็นแผ่นได้ง่าย เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความเค้นแรงดึงสูงนัก ไม่สามารถนำมาชุบแข็งได้ แต่ถ้าต้องการชุบแข็งต้องใช้วิธีเติมคาร์บอนที่ผิวก่อน เพราะมีคาร์บอนน้อย (ไม่เกิน 0.2%) ตัวอย่างการใช้งาน เช่น เหล็กแผ่นหม้อน้ำ ท่อน้ำประปา เหล็กเส้นในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เหล็กเคลือบดีบุก เช่น กระป๋องบรรจุอาหาร เหล็กอาบสังกะสี เช่น แผ่นสังกะสีมุงหลังคา ตัวถังรถยนต์ ถังน้ำมัน งานย้ำหมุด สกรู ลวด สลักเกลียว ชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร โซ่ บานพับประตู

1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงและความเค้นแรงดึงมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แต่มีความเหนียวน้อยกว่า นอกจากนี้ยังให้คุณภาพในการแปรรูปที่ดีกว่าและยังสามารถนำไปชุบผิวแข็งได้ เหมาะกับงานที่ต้องการความเค้นดึงปานกลาง ต้องการป้องกันการสึกหรอที่ผิวหน้า และต้องการความแข็งแรง แต่มีความแข็งบ้างพอสมควร เช่น ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ทำรางรถไฟ เพลาเครื่องกล เฟือง หัวค้อน ก้านสูบ สปริง ชิ้นส่วนรถไถนา ไขควง ท่อเหล็ก นอต สกรูที่ต้องแข็งแรง

1.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เป็นเหล็กมีความแข็งแรง และทนความเค้นแรงดึงสูง มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.5-1.5% สามารถทำการชุบแข็งได้แต่จะเปราะ เหมาะสำหรับ งานที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหล่อ เช่น ดอกสว่าน สกัด กรรไกร มีดคลึง ใบเลื่อยตัดเหล็ก ดอกทำเกลียว (Tap) ใบมีดโกน ตะไบ แผ่นเกจ เหล็กกัด สปริงแหนบ ลูกบอล แบริ่งลูกปืน

2. เหล็กกล้าประสม (Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าผสมคาร์บอนไม่เกิน 1.7% และมีธาตุอื่นๆผสม เช่น แมงกานิส นิกเกิล โครเมียม วาเนเดียม โมลิบดินัม โคบอลต์ ทังสเตน การผสมธาตุต่างๆ ช่วยปรับคุณสมบัติให้เหมาะกับความต้องการ เช่น การทนต่อความร้อนเพื่อใช้ทำ เตากระทะ เตาไฟฟ้า และ เตาอินดักชั่น เป็นต้น

จุดมุ่งหมายของการผสมธาตุอื่นๆ คือ

- เพิ่มความแข็งแรง
- เพิ่มทนทานต่อการสึกหรอ และทนการเสียดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพิ่มความเหนียวทนต่อแรงกระแทก

- เพิ่มคุณสมบัติต้นทานการกัดกร่อน

- ปรับปรุงคุณสมบัติด้านแม่เหล็ก

เหล็กกล้าประสมสามารถแบ่งตามปริมาณของวัสดุที่ผสมได้ 2 ชนิด คือ

1. เหล็กกล้าประสมสูง (High Alloy Steel) เป็นเหล็กที่ผสมธาตุอื่นๆกว่า 10% เหล็กกล้าในกลุ่มนี้รวมถึง เหล็กเครื่องมือประสม (Alloy Tool Steel) มีคุณสมบัติในด้าน ทนต่อการกัดกร่อน ทนต่อการสึกหรอได้ดี จึงถูกใช้งานในการทำเหล็กงานเครื่องมือต่างๆ

2. เหล็กกล้าประสมต่ำ (Low Alloy Steel) เป็นเหล็กที่ผสมธาตุอื่นๆไม่เกิน 10% มีโครงสร้างคล้ายเหล็กคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon Steel) และมีคุณสมบัติเหมือนเหล็กกล้าประสมสูง

3. เหล็กกล้าประสมพิเศษ (Special Alloy Steel) เหล็กกล้าประสมพิเศษ เป็นเหล็กกล้าประสมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เหมาะกับงานเฉพาะ เช่น

3.1 เหล็กกล้าประสมทนแรงดึงสูง (High Tensile Strength Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติต่างจากเหล็กกล้าประสมทั่วไป มีคุณสมบัติทนแรงดึงได้สูงมาก และมีความเหนียวสูง นอกจากนี้วิธีการชุบแข็งยังแตกต่างไปจากเหล็กกล้าประสมทั่วไป มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ประมาณ 0.2% เหมาะกับงาน เพลาส่งกำลัง หรือ เฟือง เป็นต้น

3.2 เหล็กกล้าทนการเสียดสี และรับแรงกระแทก (Wear Resistant Steel) คือ เหล็กกล้าประสมแมงกานีส หรือ "เหล็กกล้าฮาดฟิลด์" มีธาตุผสมเช่น ซิลิคอน 0.4-1% แมงกานีส 11-14% แต่เหล็กที่ผลิตออกมาในตอนแรกยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เพราะมีความเปราะต้องนำไปชุบที่อุณหภูมิ 1000-1100°C และจุ่มน้ำอย่างรวดเร็ว จะทำให้เหล็กชนิดนี้มีคุณสมบัติเหนียว ทนทานต่อการเสียดสี และรับแรงกระแทกได้ดี จึงไม่เหมาะกับ งานตัดเจาะ หรือกลึงขึ้นรูป เนื่องจากต้องใช้มีดกลึงที่มีความแข็งสูงและใช้ความเร็วในการตัดต่ำมาก เช่น

ตะแรงเหล็ก อุปกรณ์ขุดแร่ รางรถไฟ เป็นต้น

3.3 เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel หรือ HSS) เป็นเหล็กที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานเครื่องมือตัด กลึง กัด เจาะ ไส ซึ่งเดิมใช้เหล็กคาร์บอนสูง เหล็กชนิดนี้มีทังสเตนเป็นธาตุหลักประสม ก่อนนำไปใช้งานจะต้องชุบแข็งที่อุณหภูมิ ประมาณ 950-1300°C ขึ้นอยู่กับส่วนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทั่วไป

- มีความแข็ง (หลังจากชุบแข็งแล้วจะเปราะ)
- รักษาความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง
- ชุบแข็งได้ดีทนต่อการสึกหรอได้ดี
- เปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.6-0.8%
- ธาตุที่ผสมอยู่ ทังสเตน 6% ไมลิบดินัม 6% โครเมียม 4% วาเนเดียม 1%
- การใช้งาน ดอกสว่าน ดอกทำเกลียว มีด กลึง มีดใส แม่พิมพ์ เครื่องมือวัดต่างๆ

3.4 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) มีธาตุโครเมียมผสมอยู่เพื่อให้มีคุณสมบัติต้านทานสนิม และต้องผสมโครเมียมให้สูงพอสมควร

คุณสมบัติทั่วไป

- ป้องกันการเกิดสนิม การกัดกร่อนจากสารเคมีประเภทกรด
- ทนความร้อน (ขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมต้องสูง)
- เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไม่เกิน 0.4%
- ธาตุที่ผสม เช่นโครเมียม 15-18% นิกเกิล แมงกานีส อะลูมิเนียม
- การใช้งานที่ยึดส่วนต่างๆ เช่น ที่ยึดเตาท่อ มีด ช้อนส้อม หรืออุปกรณ์ในงานเคมี หรืออ่างล้างในครัว (Sink)

4. เหล็กกล้าหล่อ (Cast Steel) คือ เหล็กกล้าที่นำมาขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อ มีลักษณะรูปร่างซับซ้อนเกินกว่าที่จะทำการตีขึ้นรูป การอัด หรือการรีด ซึ่งวิธีการหล่อนี้จะได้งานที่ขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการ เหล็กกล้าหล่อนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยการตี หรือการวัดจะมีส่วนที่แตกต่างกัน คือ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ผ่านการหล่อจะปรากฏมีรูพรุนเล็กๆ

5. เหล็กอ่อน (Wrought Iron) เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอน ไม่เกิน 0.1% และธาตุผสมอื่นๆ เช่น ซิลิคอน กำมะถัน ฟอสฟอรัส แมงกานีส ทำให้ได้เหล็กที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.9% เมื่อเผาให้ร้อนเหล็กอ่อนนี้จะไม่หลอมละลาย แต่จะอ่อนเปียกตีขึ้นรูปได้ง่ายมาก สามารถตีชิ้นเหล็กให้ประสานกันได้ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ท่อ หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องพบกับการเสื่อมสภาพโดยสนิม ข้อต่อรถไฟ โซ่ ขอเกี่ยว หรือ อุปกรณ์ที่ขึ้นรูปอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าหล่อแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มๆ คือ

1. เหล็กกล้าคาร์บอนหล่อ (Carbon Casting Steel) เป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นหลักเพียงอย่างเดียวโดยมีคาร์บอนผสมไม่เกิน 0.6% ธาตุโลหะอื่นที่ผสมอยู่ เช่น แมงกานีส 0.5-1% ซิลิคอน 0.2-0.75% กำมะถัน <0.5% ฟอสฟอรัส < 0.5% ซึ่งเป็นสารมลทิน ยกเว้นเฉพาะ แมงกานีส ซิลิคอน อะลูมิเนียม เพราะมีหน้าที่เป็นตัวกำจัดแก๊ส (Deoxidizer) ส่วนใหญ่การใช้งานจะใช้ทำกังหันเทอร์ไบต์

เหล็กกล้าคาร์บอนหล่อแบ่งเป็น 3 ชนิด ดังนี้

- เหล็กกล้าหล่อคาร์บอนต่ำ (มีคาร์บอนไม่เกิน 0.2%)
- เหล็กกล้าหล่อคาร์บอนปานกลาง (มีคาร์บอน 0.2-0.5%)
- เหล็กกล้าหล่อคาร์บอนสูง (มีคาร์บอน 0.5-0.6%)

2. เหล็กกล้าประสมหล่อ (Alloy Casting Steel) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไม่เกิน 1.7% และธาตุอื่นผสม เช่น แมงกานีส ซิลิคอน โครเมียม นิกเกิล วาเนเดียม โมลิบดินัม โมลิบดินัม ทังสเตน ทองแดง หรือโคบอลต์ การที่มีธาตุต่างๆ ผสมในเหล็กกล้าคาร์บอนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น การชุบแข็ง การต้านทานการกัดกร่อนทั้งที่อุณหภูมิปกติและสูง การนำไฟฟ้าและคุณสมบัติเกี่ยวกับแม่เหล็ก กรรมวิธีการผลิตจะผลิตใน เตากระทะ เตาไฟฟ้า และ เตาอินดักชั่น ส่วนใหญ่จะนำไปใช้งานทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ในงานอุตสาหกรรมเคมี

เหล็กกล้าประสมหล่อ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- เหล็กกล้าประสมต่ำ (ธาตุผสม เช่น แมงกานีส โครเมียม นิกเกิล ทังสเตน ไม่เกิน10%)
- เหล็กกล้าประสมสูง (มีธาตุผสมที่สำคัญเกินกว่า 10%)

คุณสมบัติของธาตุต่าง ๆ เมื่อผสมลงไปในเหล็ก มีดังนี้

คาร์บอน (Carbon) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ C

เป็นธาตุที่สำคัญที่สุด จะต้องมีผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก มีคุณสมบัติทำให้เหล็กแข็งเพิ่มขึ้น หลังจากนำไปอบชุบ (Heat Treatment) โดยรวมตัวกับเนื้อเหล็ก เป็นสารที่เรียกว่า มาร์เทนไซต์ (Martensite) และซีเมนไตด์ (Cementite) นอกจากนั้น คาร์บอนยังสามารถรวมตัวกับเหล็ก และธาตุอื่น ๆ กลายเป็นคาร์ไบด์ (Carbide) ซึ่งจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอของเหล็ก อย่างไรก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาม คาร์บอนจะลดความยืดหยุ่น (Elasticity) ความสามารถในการตีขึ้นรูป (Forging) และความสามารถในการเชื่อม (Welding) และไม่มีผลต่อความต้านทานการกัดกร่อน

อลูมิเนียม (Aluminium) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Al

เป็นธาตุที่นิยมใช้เป็นตัวไล่แก๊สออกซิเจน และไนโตรเจน (Deoxidizer และ Denitrizer) มากที่สุด ซึ่งผสมอยู่เล็กน้อยในเหล็ก จะมีผลทำให้เนื้อละเอียดขึ้น เมื่อใช้ผสมลงในเหล็กที่จะนำไปผ่านกระบวนการอบชุบแข็ง โดยวิธีไนไตรดิ้ง (Nitriding) ทั้งนี้เนื่องจากอลูมิเนียมสามารถรวมตัวกับไนโตรเจน เป็นสารที่แข็งมาก ใช้ผสมลงในเหล็กทนความร้อนบางชนิด เพื่อให้ต้านทานต่อการตกสะเก็ด (Scale) ได้ดีขึ้น

โบรอน (Boron) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ B

ช่วยเพิ่มความสามารถชุบแข็งแก่เหล็ก ที่ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรทั่วไป จึงทำให้ใจกลางของงานที่ทำด้วยเหล็กชุบผิวแข็ง มีความแข็งสูงขึ้น โบรอนสามารถดูดกลืนนิวตรอนได้สูง จึงนิยมเติมในเหล็กที่ใช้ทำฉากกั้นอุปกรณ์นิวเคลียร์

เบริลเลียม (Beryllium) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Be

สปริงนาฬิกาซึ่งต้องต่อต้านอำนาจแม่เหล็ก และรับแรงแปรอยู่ตลอดเวลานั้น ทำจากทองแดงผสมเบริลเลียม (Beryllium-Coppers Alloys) โลหะผสมนิกเกิล-เบริลเลียม (Ni-Be Alloys) แข็งมาก ทนการกัดกร่อนได้ดี ใช้ทำเครื่องมือผ่าตัด

แคลเซียม (Calcium) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Ca

แคลเซียมจะใช้ในลักษณะแคลเซียมซิลิไซด์ (CaSi) เพื่อลดออกซิเดชั่น (Deoxidation) นอกจากนั้น แคลเซียม ยังช่วยเพิ่มความต้านทานการเกิดสเกลของวัสดุที่ใช้เป็นตัวนำความร้อน

ซีเรียม (Cerium) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Ce

เป็นตัวลดออกซิเจนและกำมะถันได้ดี ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้าน Hot Working ของเหล็กกล้า และปรับปรุงความต้านทานการเกิดสเกลของเหล็กทนความร้อน

โคบอลต์ (Cobalt) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Co

ไม่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ แต่สามารถป้องกันไม่ให้เหล็กเกิดเนื้อหยาบที่อุณหภูมิสูง ดังนั้น จึงช่วยปรับปรุงให้เหล็กมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้ จึงใช้ผสมในเหล็กขึ้นรูปงานร้อน เหล็กทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อน และเหล็กไฮสปีด ธาตุโคบอลต์เมื่อได้รับรังสีนิวตรอนจะเกิดเป็น โคบอลต์ 60 ซึ่งเป็นสารกัมมันตภาพรังสีอย่างรุนแรง ดังนั้น จึงไม่ควรเติมโคบอลต์ลงในเหล็กที่ใช้ทำเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

โครเมียม (Chromium) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cr

ทำให้เหล็กอบชุบได้ง่ายขึ้น เพราะลดอัตราการเย็นตัววิกฤตลงอย่างมาก สามารถชุบในน้ำมันหรืออากาศได้ (Oil or Air Quenching) เพิ่มความแข็งให้เหล็ก แต่ลดความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact) ลง โครเมียมที่ผสมในเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอน เป็นสารประกอบพวกคาร์ไบด์ ซึ่งแข็งมาก ดังนั้น จึงทำให้เหล็กทนทานต่อแรงเสียดสี และบริเวณที่เป็นรอยคมหรือความคมไม่ลบง่าย ทำให้เหล็กเป็นสนิมได้ยาก เพิ่มความแข็งแรงของเหล็กที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง เพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารต่าง ๆ ได้ดีขึ้น

ทองแดง (Copper) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cu

เพิ่มความแข็งแรง ถ้ามีทองแดงผสมอยู่ในเหล็กแม้เพียงเล็กน้อย เหล็กจะไม่เกิดสนิมเมื่อใช้งานในบรรยากาศ ทองแดงจะไม่มีผลเสียต่อความสามารถในการเชื่อมของเหล็กแต่อย่างไร

แมงกานีส (Manganese) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Mn

ใช้เป็นตัวไล่กำมะถัน (S) ซึ่งเป็นตัวที่ไม่ต้องการในเนื้อเหล็ก จะถูกกำจัดออกในขณะหลอม ทำให้เหล็กอบชุบแข็งง่ายขึ้น เนื่องจากเป็นตัวลดอัตราการเย็นตัววิกฤต (Critical Cooling Rate) ทำให้เหล็กทนทานต่อแรงดึงได้มากขึ้น เพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเหล็กเมื่อถูกความร้อน แต่จะลดคุณสมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้า และความร้อน นอกจากนั้น แมงกานีสยังมีอิทธิพลต่อการขึ้นรูปหรือเชื่อม เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณแมงกานีสเพิ่มขึ้น จะทนต่อการเสียดสีได้ดีขึ้นมาก

โมลิบดีนัม (Molybdenum) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Mo

ปกติจะใช้ผสมรวมกับธาตุอื่น ๆ เป็นตัวลดอัตราการเย็นตัววิกฤต ทำให้อบชุบง่ายขึ้น ป้องกันการเปราะขณะอบคืนตัว (Temper Brittleness) ทำให้เหล็กมีเนื้อละเอียด เพิ่มความทนทานต่อแรงดึงแก่เหล็กมากขึ้น สามารถรวมตัวกับคาร์บอนเป็นคาร์ไบด์ได้ง่ายมาก ดังนั้น จึงปรับปรุงคุณสมบัติในการตัดโลหะ (Cutting) ของเหล็กไฮสปีดได้ดีขึ้น เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) แก่เหล็ก อย่างไรก็ตาม เหล็กที่มีโมลิบดินั่มสูงจะตีขึ้นรูปยาก

ไนโตรเจน (Nitrogen) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ N

ขณะทำไนไตรดิ้ง (Nitriding) ไนโตรเจนจะรวมตัวกับธาตุบางชนิดในเหล็ก เกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ ซึ่งทำให้ผิวงานมีความแข็งสูงมาก ต้านทานการสึกหรอได้ดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกเกิล (Nickel) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Ni

เป็นตัวที่เพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกของเหล็ก ดังนั้น จึงใช้ผสมในเหล็กที่จะนำไปชุบแข็งที่ผิว ใช้ผสมกับโครเมียม ทำให้เหล็กทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ไม่เป็นสนิมง่าย ทนความร้อน

ออกซิเจน (Oxigen) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ O

ออกซิเจนเป็นอันตรายต่อเหล็ก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิด ส่วนผสม รูปร่าง และการกระจายตัวของสารประกอบที่เกิดจากออกซิเจนนั้น ออกซิเจนทำให้คุณสมบัติเชิงกล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความต้านทานแรงกระแทกลดลง (ตามแนวขวาง) และเปราะยิ่งขึ้น

ตะกั่ว (Lead) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Pb

เหล็กฟรีแมชชีนนิ่ง (Free-Machining Steel) มีตะกั่วผสมอยู่ประมาณ 0.20 - 0.50 % โดยตะกั่วจะเป็นอนุภาคละเอียด กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อเหล็ก เมื่อนำไปกลึงหรือตัดแต่งด้วยเครื่องมือกล ทำให้ขี้กลึงขาดง่าย จึงทำให้ตัดแต่งได้ง่าย ตะกั่วไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็ก

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และกำมะถัน (Sulphur) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ P และ S ตามลำดับ

เป็นตัวทำลายคุณสมบัติของเหล็ก แต่มักผสมอยู่ในเนื้อเหล็กโดยไม่ได้ตั้งใจ ต้องพยายามให้มีน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ มักจะเรียกสารเหล่านี้ว่า สารมลทิน (Impurities) เหล็กเกรดสูงจะต้องมีฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.03 - 0.05 % ส่วนกำมะถันจะทำให้เหล็กเกิด Red Shortness จึงแตกเปราะง่าย โดยทั่วไปจึงจำกัดปริมาณกำมะถันในเหล็กไม่เกิน 0.025 หรือ 0.03 % ยกเว้น เหล็กฟรีแมชชีนนิ่ง (Free Machining) ที่เติมกำมะถันถึง 0.30 % เพื่อให้เกิดซัลไฟด์ขนาดเล็กกระจายทั่วเนื้อเหล็ก ทำให้ขี้กลึงขาดง่าย จึงตัดแต่งด้วยเครื่องมือกลได้ง่าย

ซิลิคอน (Silicon) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Si

ซิลคอนจะปรากฏในเหล็กทุกชนิด เนื่องจากสินแร่เหล็กมักมีซิลิคอนผสมอยู่ด้วยเสมอ ซิลิคอนไม่ใช่โลหะ แต่มีสภาพเหมือนโลหะ ใช้เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิ่ง (Oxidizing) ทำให้เหล็กแข็งแรงและทนทานต่อการเสียดสีได้ดีขึ้น เพิ่มค่าแรงดึงที่จุดคราก (Yield Point) ของเหล็กให้สูงขึ้นมาก ดังนั้น จึงใช้ผสมในการทำเหล็กสปริง (Spring Steels) ช่วยทำให้เหล็กทนทานต่อการตกสะเก็ด (Scale) ที่อุณหภูมิสูงได้ดี จึงใช้ผสมในเหล็กทนความร้อน เหล็กกล้าที่มีซิลิคอนสูงจะมีเกรนหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทเทเนียม (Titanium) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Ti

ไทเทเนียมเป็นโลหะที่แข็งมาก ทำให้เกิดคาร์ไบด์ได้ดี เป็นธาตุผสมที่สำคัญในเหล็กสเตนเลส เพื่อป้องกันการผุกร่อนตามขอบเกรน นอกจากนั้น ไทเทเนียมยังช่วยทำให้เหล็กมีเกรนละเอียด

วาเนเดียม (Vanadium) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ V

ทำให้เหล็กทนต่อความร้อนได้ดี เพิ่มความแข็งแรงให้กับเหล็ก โดยไม่ทำให้คุณสมบัติในการเชื่อมและการดึงเสียไป ทำให้เหล็กมีเนื้อละเอียด รวมตัวกับคาร์บอนที่เป็นคาร์ไบด์ได้ง่าย จึงทำให้ทนทานต่อการสึกกร่อน มักจะผสมในเหล็กขึ้นรูปร้อน (Hot Working Steels) และเหล็กไฮสปีด

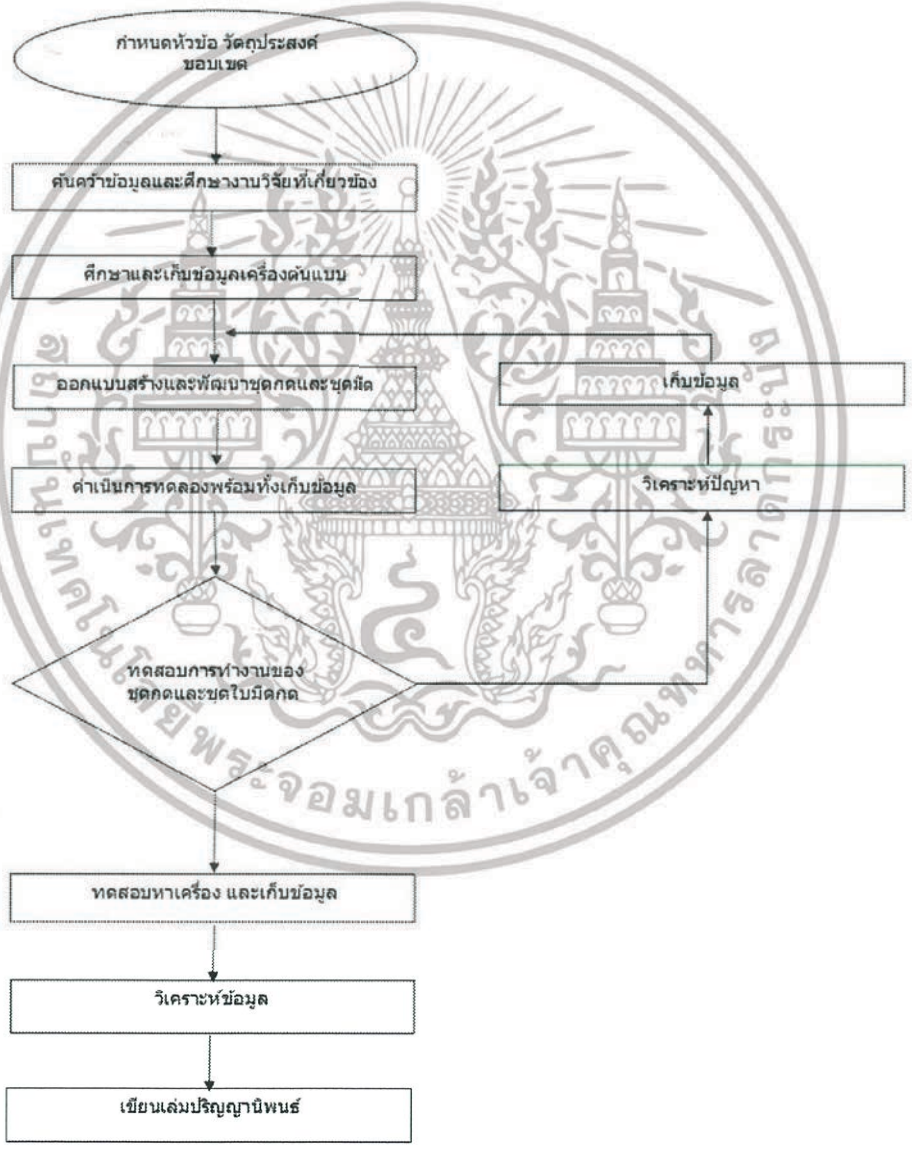
ทังสเตน (Tungsten) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ W

สามารถรวมตัวกับคาร์บอนเป็น คาร์ไบด์ ที่แข็งมาก จึงทำให้เหล็กที่ผสมทังสเตนมีความแข็งมากหลังจากผ่านการอบชุบ จึงใช้ทำพวกเครื่องมือคม (Cutting Tools) ต่าง ๆ ทำให้เหล็กเหนียวขึ้น และป้องกันไม่ให้เหล็กเกิดเนื้อหยาบ เนื่องจากการที่เกรนขยายตัว เพิ่มความทนทานต่อการเสียดสีของเหล็ก ดังนั้น จึงนิยมเติมทังสเตนในเหล็กไฮสปีด (Hi-Speed) และเหล็กที่ต้องอบชุบแข็งโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีดำเนินโครงงาน

การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดสำหรับสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงความเป็นในการที่ทำการสร้างชุดกดและชุดมีด ตลอดจนการวางแผนดำเนินการให้ชุดกดและชุดมีดที่พัฒนาขึ้นได้มีประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานที่ทำการดำเนินการออกแบบและสร้างชุดกดและชุดมีดตามขั้นตอนการดำเนินดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการสร้างชุดกดและชุดมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการออกแบบใบมีดหั่นมันสำปะหลัง

ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

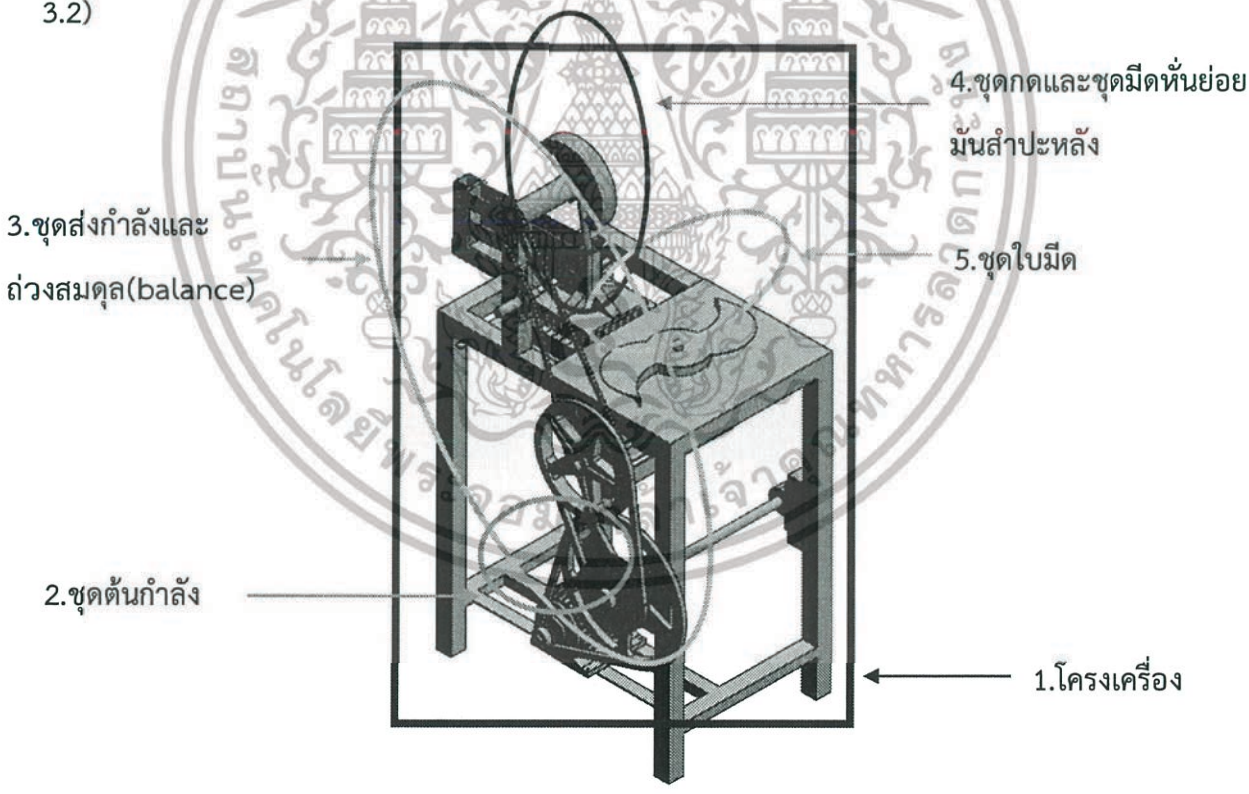
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

- การจำแนกชนิดและสายพันธุ์มันสำปะหลัง
- ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

ทฤษฎีในการออกแบบชุดใบมีด

- ความเค้น (Stress)
- คมมีด (Knife Edge Bevel)

3.2 โครงสร้างของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋ามีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โครงเครื่อง (กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 600x800x1300 มม.)

2. ชุดต้นกำลัง (มอเตอร์ 3 เฟส 2 แรงม้า 1400 รอบต่อนาที)

3. ชุดส่งกำลังและถ่วงสมดุล (balance)

4. ชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยเป็นลูกเต๋า

5. ชุดใบมีด

ในส่วนของโครงงานนี้จะศึกษาเฉพาะชุดกดและชุดมีนหั่นย่อยมันสำปะหลังเพื่อให้เหมาะกับการทำงานของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ซึ่งได้มีการปรับปรุงและพัฒนาในการหั่นมันสำปะหลัง ดังนี้

3.3 การออกแบบชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยเป็นลูกเต๋ามันสำปะหลัง

การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยเป็นลูกเต๋าสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า แบ่งออกเป็นสองส่วน ดังนี้

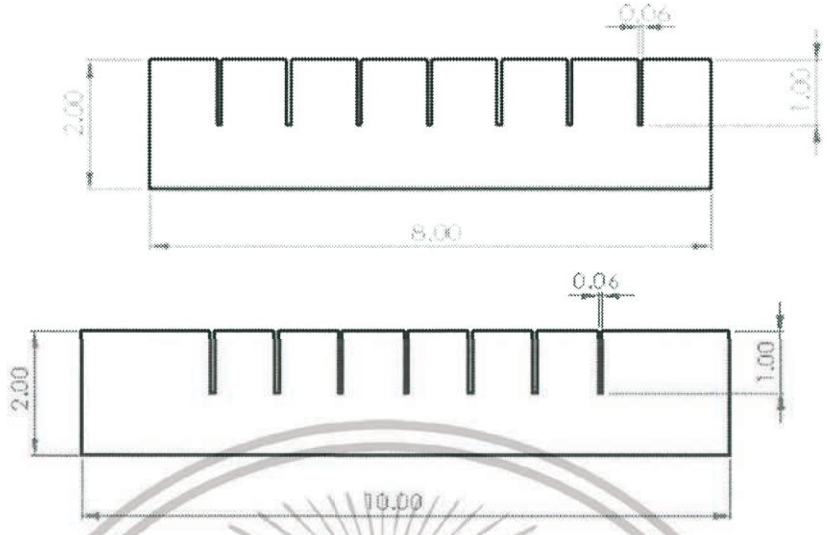
1) **ชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยเป็นลูกเต๋ามันสำปะหลัง ซึ่งประกอบด้วย**
   1.1) ชุดมีดสำหรับหั่นมันสำปะหลังเป็นแบบลูกเต๋า
   1.2) ชุดกดสำหรับกดมันสำปะหลังเป็นแบบลูกเต๋า
   1.3) หน้าแปลนสำหรับยึดชุดมีดเข้ากับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า
2) **ส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของชุดใบมีดมีดังนี้**
   1.1) ระบบส่งกำลังและล้อช่วยแรง (Flywheels)
   1.2) ใบมีดและใบปัดสำหรับหั่นและปัดมันสำปะหลัง

3.3.1 การสร้างชุดมีดหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋ามีการออกแบบชุดมีดแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

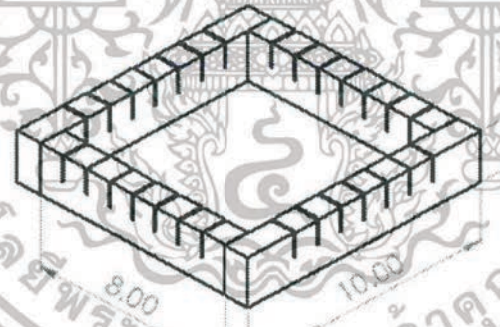
1. กรอบชุดมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังเป็นลูกเต๋า

เขียนแบบเหล็กแผ่นกว้าง 2 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว หนา 1 นิ้ว และ เหล็กแผ่น กว้าง 2 นิ้ว ยาว 10 นิ้ว หนา 1 นิ้ว ในโปรแกรม Solidwork ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กรอบของชุดมีดนำเหล็กแผ่นที่ตัดมาบากร่องที่มีความลึก 1 นิ้ว ยาว 0.06 นิ้ว โดยแต่ละร่องห่างกันร่องละ 1 นิ้ว ซึ่งมีร่องทั้งหมด 7 ร่อง นำเหล็กแผ่นที่บากเสร็จเรียบแล้วมาเชื่อมติดกัน ดังรูปที่ 3.4

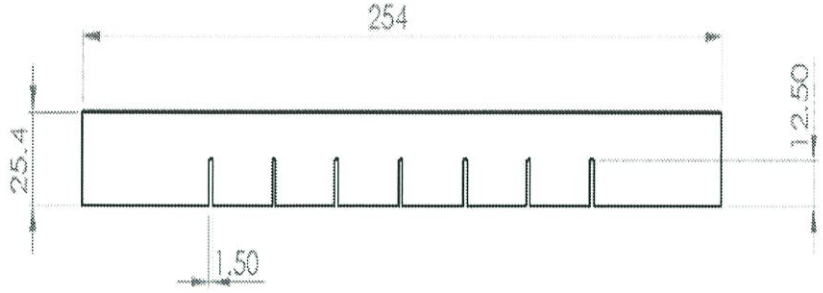


รูปที่ 3.4 กรอบมีดที่เชื่อมติดกัน

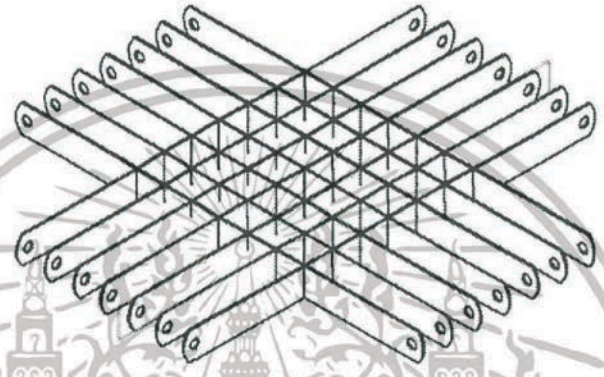
2.ชุดมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังเป็นลูกเต๋ามีการออกแบบของใบมีดจากวัสดุ 2 แบบดังนี้

ใช้ใบเลื่อยยี่ห้อ Eclipseและใบสแตนเลส ทั้ง14 ใบ มาบากร่องมีดให้มีความลึก 12.5 มิลลิเมตร และมีความกว้าง 1.5 มิลลิเมตร ทั้งหมด 7 ช่อง ซึ่งแต่ละช่องให้มีความห่างช่องละ 1 นิ้ว ดังรูปที่ 3.5

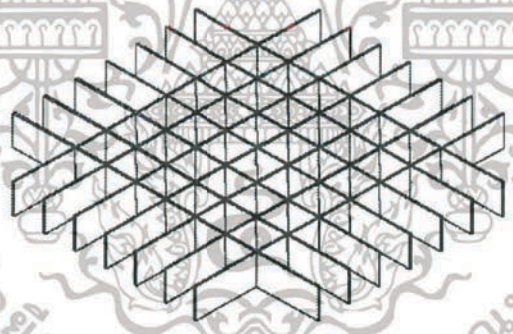
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ใบมีดลับคมมีดให้มีลักษณะแบบV-Shapeโดยใช้เครื่อง Milling นำใบมีดที่ได้ลับคมมาสานกัน (ดังรูปที่ 3.6 และดังรูปที่ 3.7)

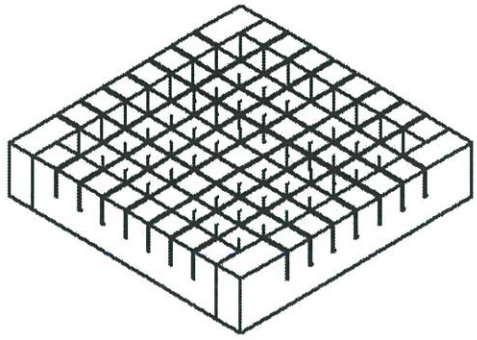


รูปที่ 3.6 ใบเลื่อยEclipseทั้ง 14 ใบสานกัน



รูปที่ 3.7 ใบสแตนเลสทั้ง 14 ใบสานกันและนำชุดใบมีดไปใส่กรอบมีดดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

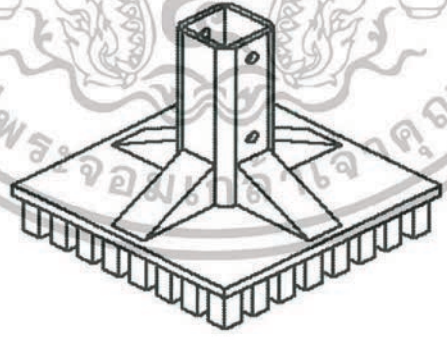


รูปที่ 3.8 กรอบมีดพร้อมชุดมีดหั่นย่อย

3.3.2 สร้างชุดกดมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า มีการสร้างดังนี้

เขียนแบบแผ่นเหล็ก กว้าง 8 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว หนา 10 มิลลิเมตร ในโปรแกรม Solidwork นำแบบที่เขียนไปตัดดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 แผ่นเหล็กกดมันสำปะหลัง นำแผ่นกดที่ตัดมาเชื่อมกับเหล็กแทงดังรูปที่ 3.10

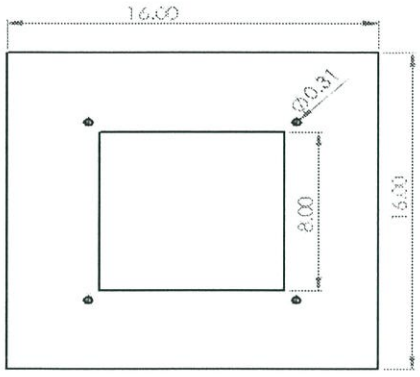


รูปที่ 3.10 ชุดกดพร้อมติดแท่งเหล็ก

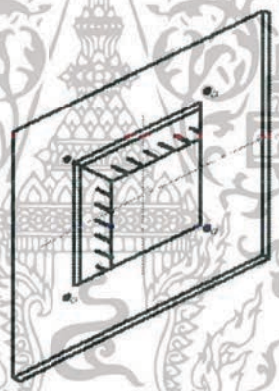
3.3.3 การสร้างหน้าแปลนสำหรับยึดชุดมีดไว้กับเครื่องกดมัน มีขั้นตอนในการสร้างดังนี้

เขียนแบบแผ่นเหล็ก กว้าง 16 นิ้ว ยาว 16 นิ้ว พร้อมทั้งตัดช่องว่างในแผ่นเหล็ก กว้าง 8 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว ในโปรแกรม Solidwork ดังรูปที่ 3.11

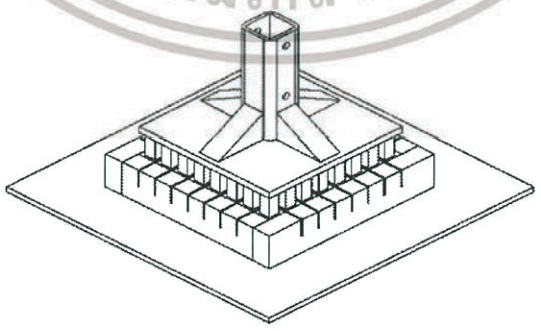
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แปลนสำหรับยึดกับกรอบ นำแผ่นเหล็กที่ได้มาเชื่อมแท็กกับกรอบชุดมีด หลังจากนั้นเจาะรูต๊าปเกลียว M8 ลึกลงไป 45 มิลลิเมตร (โดยใช้ดอกสว่าน ขนาด 6.75 มิลลิเมตรในการเจาะรู) เจียรรอยแท็กระหว่างแผ่นเหล็กกับชุดมีด หลังจากนั้นทำการต๊าปเกลียว M8 ที่ตัวกรอบชุดมีดและเจาะขยายรูแผ่นเหล็กเป็น 8 มิลลิเมตร นำแผ่นเหล็กและกรอบชุดมีดมายึดกันโดยการใส่น็อต M8x1.25 ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กรอบชุดมีดและแปลนที่ยึดกันเรียบร้อย



รูปที่ 3.13 แสดงการประกอบชุดกด,ชุดมีดและหน้าแปลนยึดชุดมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังเป็นลูกเต๋า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การส่งกำลัง และอัตราทดรอบของเครื่องหั่นมันสำปะหลังเป็นลูกเต๋า ซึ่งจะมีขนาดต่างๆ ของพูเลย์ในการส่งกำลังดังนี้

1) ขนาด Pulley และ ฟันเฟืองในชุดส่งกำลัง แสดงดังรูป 3.14

1. Pulley มอเตอร์ (D1) ขนาด 5 นิ้ว

2. Pulley ส่งกำลัง (D2) ขนาด 16 นิ้ว

(D3) ขนาด 3.5 นิ้ว

3. Pulley ส่งกำลังไปยังชุดกด (D4) 12 นิ้ว

4. เฟืองส่งกำลังไปยังชุดกด (T1) ขนาด 44 ฟัน

5. เฟืองส่งกำลังไปยังชุดกด (T2) ขนาด 22 ฟัน

2) การส่งกำลังมีอัตราทด สามารถคำนวณการส่งอัตราทดได้ดังนี้

$N_1 = 1400$ RPM ; $N_1D_1 = N_2D_2$

$N_2 = 437.5$ RPM

$N_2 = N_3$; $N_3D_3 = N_4D_4$

$N_4 = 145.83$ RPM

$N_5 = \frac{N_4}{2}$; $N_4 = 72.92$ R

เมื่อ N1 = ความเร็วรอบของมอเตอร์ N4 = ความเร็วรอบของใบมีดหั่น

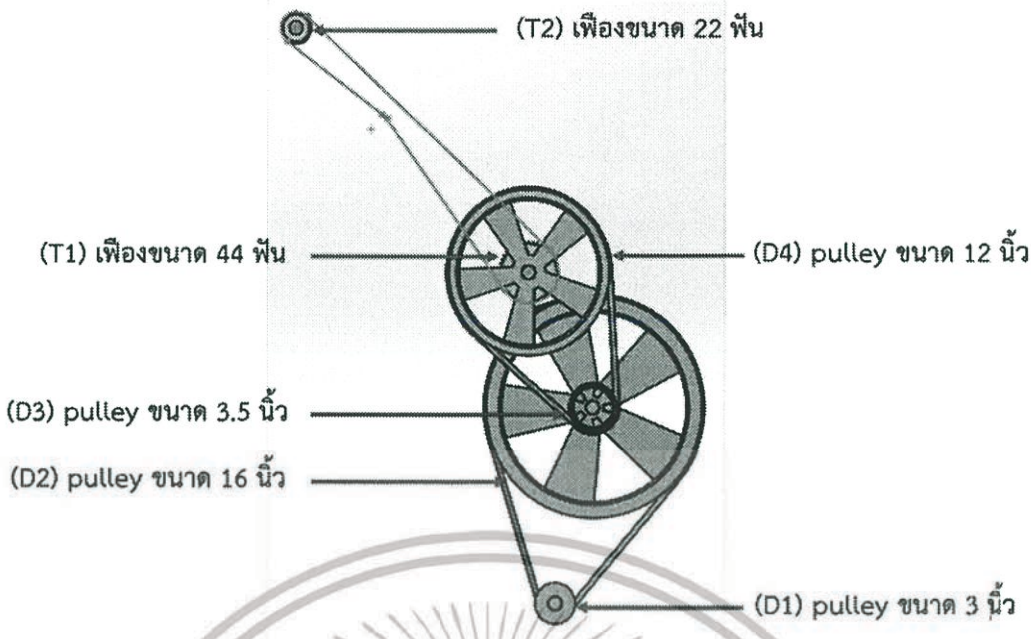
N2 = ความเร็วรอบของเพลาทดรอบ N5 = ความเร็วรอบของชุดกด

N3 = ความเร็วรอบของเพลาทดรอบ

และ D1 = พูเลย์ของมเตอร์ ขนาด 3 นิ้ว D3 = พูเลย์ของเพลาทดรอบ ขนาด 3.5 นิ้ว

D2 = พูเลย์ของเพลาทดรอบ ขนาด 16 นิ้ว D4 = พูเลย์ของมีดหั่น ขนาด 12 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงการส่งกำลังและอัตราทดต่างๆที่ได้ออกแบบไว้จากการคำนวณ

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่อง

- ตู้เชื่อมไฟฟ้า
- เครื่องเจียระไน
- เครื่องกัดโลหะ
- เครื่องตัดเหล็ก
- อุปกรณ์ช่าง อาทิ ประแจ, เวอร์เนียคาลิปเปอร์, ตลับเมตร เป็นต้น
- อุปกรณ์ป้องกัน อาทิ หน้ากากกันสะเก็ดไฟ, ถุงมือหนัง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์

1. มันสำปะหลัง

2. เครื่อง texture analyzer

3. เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

4. อุปกรณ์จับเวลา

5. เครื่องชั่งน้ำหนัก

6. ภาชนะสำหรับคัดแยกมันสำปะหลัง

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 ทดลองหาขนาดของหัวมันสำปะหลัง

1. สุ่มเลือกมันสำปะหลังมา 100 หัว

2. ใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ในการวัดหาขนาดของหัวมันสำปะหลังทั้งสามแนวแกน

4.2.2 ทดลองหาแรงกดของใบมีดที่กระทำกับเนื้อมันสำปะหลัง เพื่อเลือกใบมีดที่เหมาะสมสำหรับทำมีดหั่นย่อยมันสำปะหลัง

1. เตรียมวัสดุที่จะทำมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ใบเลื่อย Eclipse กับ Stainless 304

2. นำวัสดุทั้ง 2 ชนิดไปเข้าเครื่อง texture analyzer เพื่อที่หาแรงกดที่ใบมีดกระทำกับหัวมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการทดสอบโดยใช้หัวมันสำปะหลังทั้งหมด 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก โดยสุ่มแต่ละขนาดมา 10 หัว หัวละ 3 ซ้ำ แบ่งเป็นช่วง ได้แก่ ส่วนด้านบนของหัวมันสำปะหลัง ส่วนตรงกลางของหัวมันสำปะหลัง และ ส่วนท้ายของหัวมันสำปะหลัง

4. ใช้ Load cell ขนาด 50 Kg ความเร็วในการทดสอบ 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะในการตัดหัวมันสำปะหลัง คือ 10 mm

5. นำผลการทดสอบไปวิเคราะห์ผล

4.2.3 ทดลองหาส่วนประกอบและความแข็งของวัสดุใบมีด

1. นำวัสดุใบมีดทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ใบเลื่อย Eclipse และ Stainless 304 ไปเข้าเครื่อง Optical Emission Spectrometor เพื่อหาส่วนประกอบของวัสดุใบมีดทั้งสองชนิด

2. นำวัสดุใบมีดทั้ง 2 ชนิด มาทดลองหาค่าความแข็งของวัสดุใบมีด ด้วย เครื่อง Rockwell Hardness Tester

3. นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล

4.2.4 ทดลองหากำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

1. แบ่งมันสำปะหลังออกเป็นชุด ชุดละ 10 กิโลกรัม

2. ทดสอบเดินเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า และจับเวลา

3. เก็บข้อมูลและบันทึกผล ทั้งเครื่องต้นแบบของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า และเครื่องที่พัฒนาแล้ว

4. ทำการทดลองซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง

4.2.5 ทดลองหาความสามารถในการเป็นเต๋าสมบูรณ์, เต๋าไม่สมบูรณ์, เศษของมันสำปะหลัง และเปอร์เซ็นต์การล้นของมันสำปะหลังของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

1. แยกมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้จากเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนา ออกมาเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่ มันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสมบูรณ์, มันสำปะหลังแบบลูกเต๋าไม่สมบูรณ์, เศษมันสำปะหลัง, ส่วนที่ล้นออกจากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชนิด (ลูกเต๋าสมบูรณ์, ลูกเต๋าไม่สมบูรณ์, เศษมันสำปะหลัง, ส่วนที่ล้นออก)

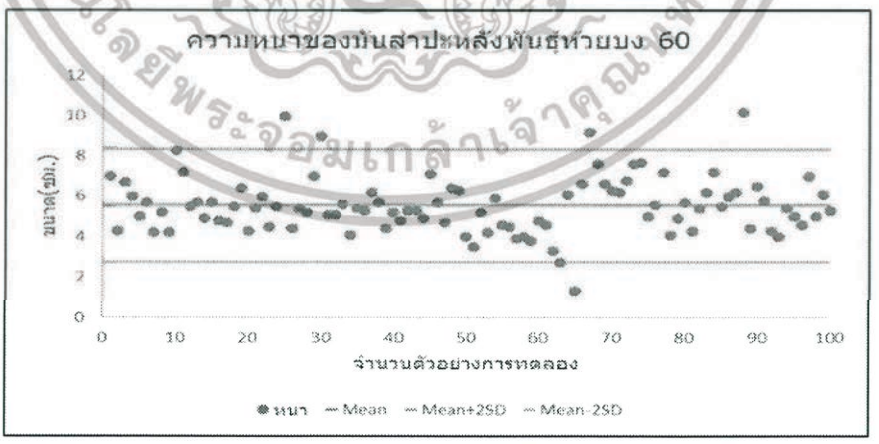
3. นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ผลการทดลองหาขนาดของหัวมันสำปะหลัง

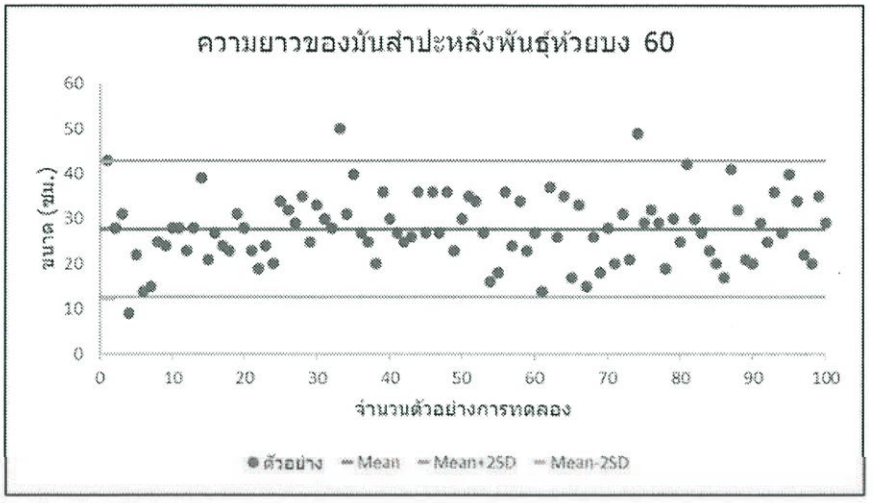
การทดลองการหาขนาดของหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และพันธุ์ห้านาที เพื่อศึกษาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านกว้าง ด้านยาว และด้านหนาตามลำดับ

รูปที่ 4.1 กราฟความกว้างของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60



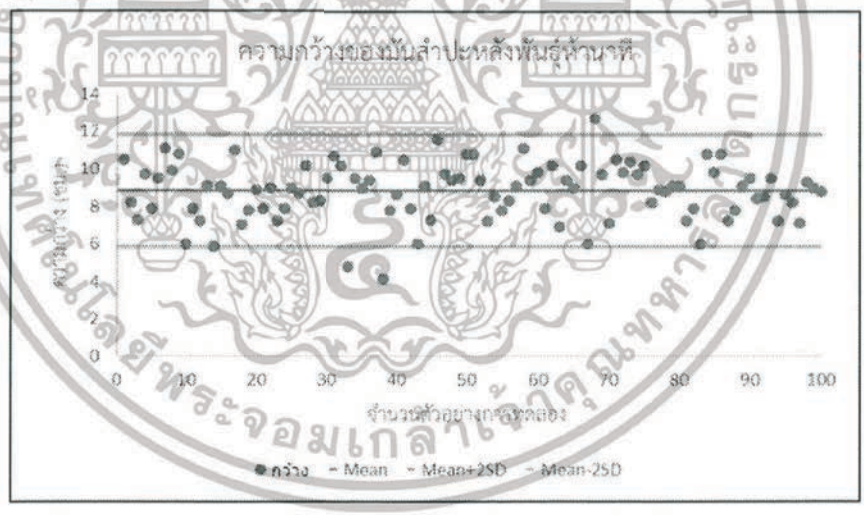
รูปที่ 4.2 กราฟความหนาของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



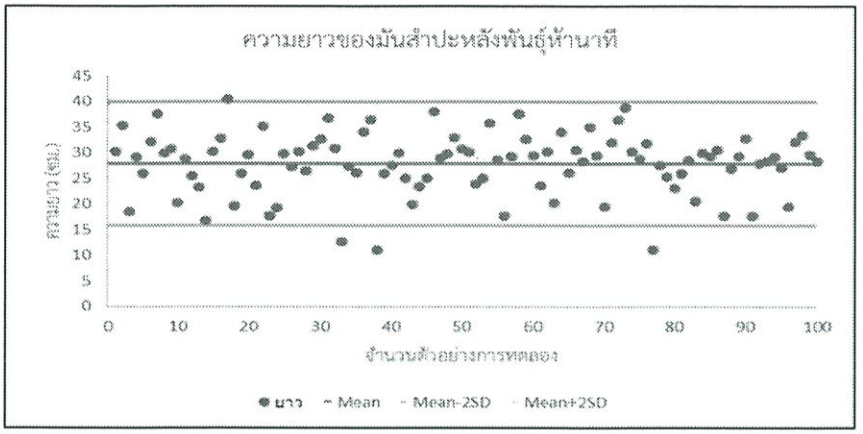
รูปที่ 4.3 กราฟความยาวของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

จากรูปที่ 4.1-4.3 เป็นกราฟของลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ประกอบด้วย กราฟความกว้าง, ความยาวและความหนาของมันสำปะหลังโดยทำการสุ่มมันสำปะหลังมาทั้งหมด 100 ตัวอย่าง พบว่า ความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 5.96 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 28.4 เซนติเมตร และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 5.41 เซนติเมตร

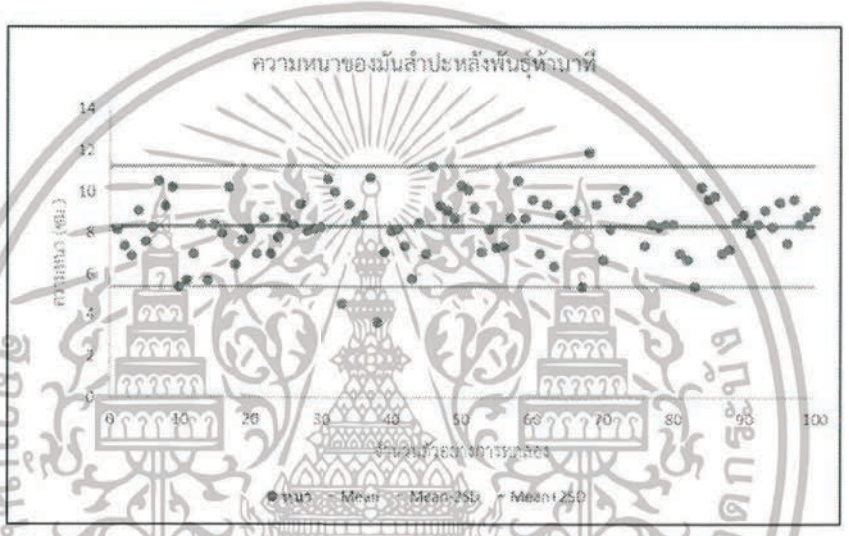


รูปที่ 4.4 กราฟความกว้างของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟความยาวของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที



รูปที่ 4.6 กราฟความหนาของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที

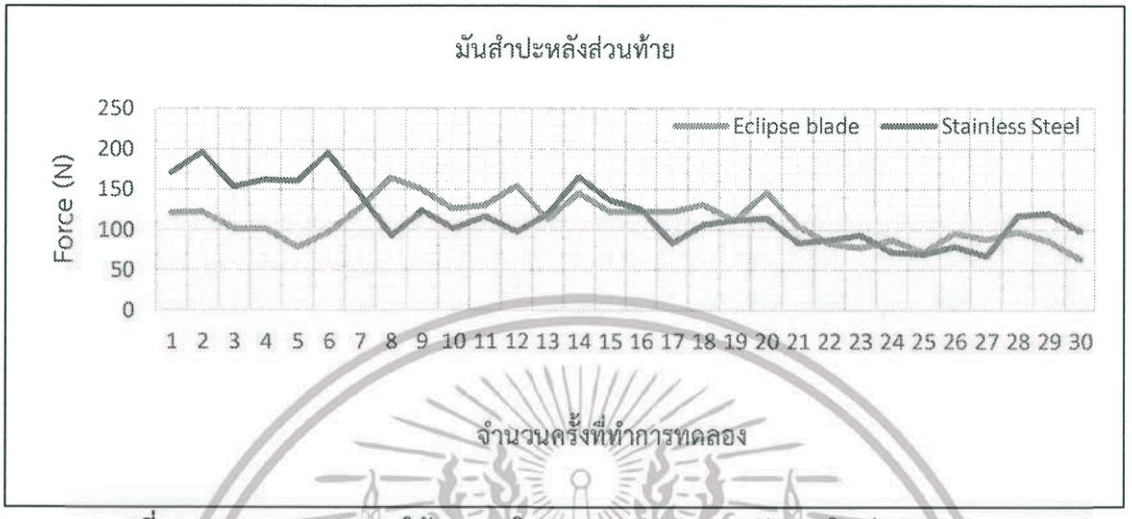
จากรูปที่ 4.4-4.6 เป็นกราฟของลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที ประกอบด้วย กราฟความกว้าง, ความยาวและความหนาของมันสำปะหลังโดยทำการสุ่มมันสำปะหลังมาทั้งหมด 100 ตัวอย่าง พบว่า ความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 8.82 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 27.8 เซนติเมตร และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 8.32 เซนติเมตร

4.3.2 ผลการทดลองหาแรงกดของใบมีดกับเนื้อมันสำปะหลัง เพื่อเลือกใบมีดที่เหมาะสมสำหรับทำมีดหั่นย่อยมันสำปะหลัง

การทดลองเพื่อเลือกวัสดุใบมีดที่เหมาะสำหรับทำมีดหั่นย่อยมันสำปะหลัง สามารถทำได้โดยทดสอบหาแรงกดสูงสุดที่กระทำกับตัวเนื้อของมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

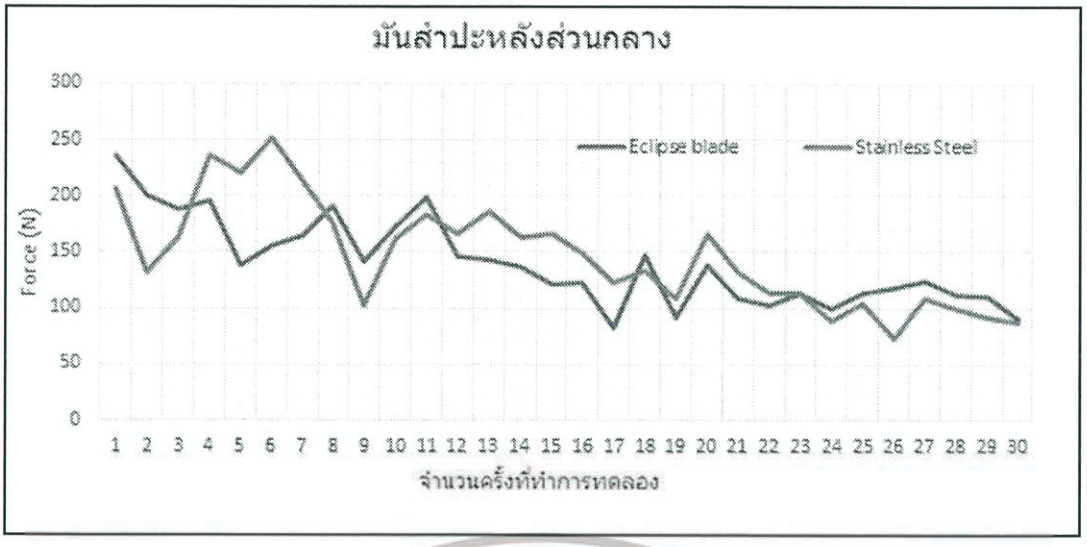
ดังตาราง ก.1 มาใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิง โดยกล่าวว่า วัสดุใดที่ใช้แรงในการตัดมันสำปะหลังที่น้อยนั้นแสดงว่าวัสดุนั้นมีความคมที่มากกว่า วัสดุที่ใช้แรงมากกว่า



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟการใช้แรงกดในการกดมันสำปะหลังของใบมีด Eclipse saw blade และ Stainless steel (ส่วนท้ายมัน)

จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟแรงกดที่ใช้ในการกดมันสำปะหลังโดยตัวอย่างทดลอง ที่ 1-10 เป็นหัวมันสำปะหลังขนาดใหญ่ ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 164.314, 195.815 นิวตัน และ 77.918, 92.174 นิวตัน ตามลำดับ ตัวอย่างทดลองที่ 11-20 เป็นมันสำปะหลังขนาดกลาง ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 153.807, 164.891 นิวตัน และ 111.039, 82.981 นิวตัน ตามลำดับ และ ตัวอย่างทดลองที่ 21-30 เป็นมันสำปะหลังขนาดเล็ก ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 104.35, 119.636 นิวตัน และ 63.314, 67.153 นิวตัน ตามลำดับ จากกราฟจะสรุปได้ว่ามันสำปะหลังขนาดใหญ่จะใช้แรงกดมันสำปะหลังมากที่สุด

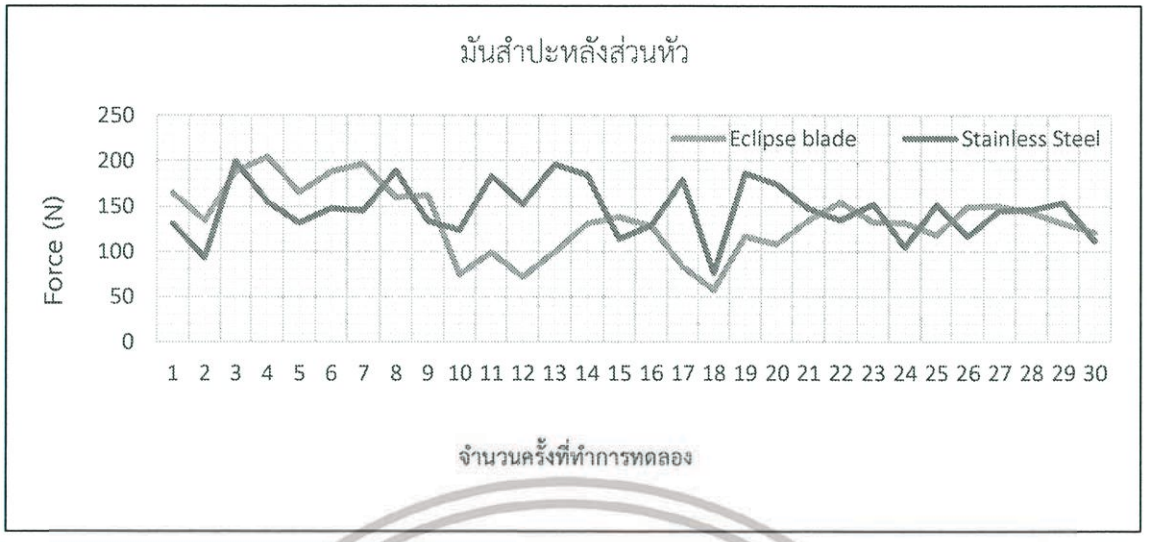
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟการใช้แรงกดในการกดมันสำปะหลังของใบมีด Eclipse saw blade และ Stainless steel (ส่วนกลาง)

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแรงกดที่ใช้ในการกดมันสำปะหลังโดยตัวอย่างทดลอง ที่ 1-10 เป็นหัวมันสำปะหลังขนาดใหญ่ ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 235.695, 250.922 นิวตัน และ 138.076, 102.935 นิวตัน ตามลำดับ ตัวอย่างทดลองที่ 11-20 เป็นมันสำปะหลังขนาดกลาง ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 199.35, 186.569 นิวตัน และ 82.318, 109.236 นิวตัน ตามลำดับ และ ตัวอย่างทดลองที่ 21-30 เป็นมันสำปะหลังขนาดเล็ก ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 123.893, 132.778 นิวตัน และ 89.68, 72.593 นิวตัน ตามลำดับ จากกราฟจะสรุปได้ว่ามันสำปะหลังขนาดใหญ่จะใช้แรงกดมันสำปะหลังมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟการใช้แรงกดในการกดมันสำปะหลังของใบมีด Eclipse saw blade และ Stainless steel (ส่วนหัวมัน)

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแรงกดที่ใช้ในการกดมันสำปะหลังโดยตัวอย่างทดลอง ที่ 1-10 เป็นหัวมันสำปะหลังขนาดใหญ่ ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 204.549, 199.727 นิวตัน และ 74.804, 92.894 นิวตัน ตามลำดับ ตัวอย่างทดลองที่ 11-20 เป็นมันสำปะหลังขนาดกลาง ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 137.836, 196.184 นิวตัน และ 71.511, 75.759 นิวตัน ตามลำดับ และ ตัวอย่างทดลองที่ 21-30 เป็นมันสำปะหลังขนาดเล็ก ได้แรงกดสูงสุดและต่ำสุดของใบมีดทั้งสองชนิดอยู่ที่ 153.82, 153.147 นิวตัน และ 118.084, 104.623 นิวตัน ตามลำดับ จากกราฟจะสรุปได้ว่ามันสำปะหลังขนาดใหญ่จะใช้แรงกดมันสำปะหลังมากที่สุด

จากกราฟทั้งสาม สรุปการทดลองนี้ได้ว่า วัสดุ Eclipse saw blade เป็นวัสดุที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานเนื่องจากเป็นวัสดุที่คมกว่า Stainless steel เนื่องจากใช้แรงในการตัดมันสำปะหลังที่น้อยกว่า

4.3.3 ผลการทดลองหาส่วนประกอบและความแข็งของวัสดุใบมีด (Hardness)

การทดลองหาส่วนประกอบและความแข็งของวัสดุใบมีด เพื่อที่จะเป็นอีกขั้นตอนในการพิจารณาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เป็นวัสดุใบมีด จะทำการทดลองโดยนำมาวัสดุทั้งสองชนิด ไปเข้าเครื่อง Optical emission spectrometer เพื่อวิเคราะห์หาส่วนประกอบ และ นำไปเข้าเครื่อง Rockwell Hardness test เพื่อวิเคราะห์หาความแข็งของวัสดุใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดลองโดยนำมาวัสดุทั้งสองชนิด ไปเข้าเครื่อง Optical emission spectrometer เพื่อวิเคราะห์หาส่วนประกอบ และ นำไปเข้าเครื่อง Rockwell Hardness test เพื่อวิเคราะห์หาความแข็งของวัสดุใบมีด

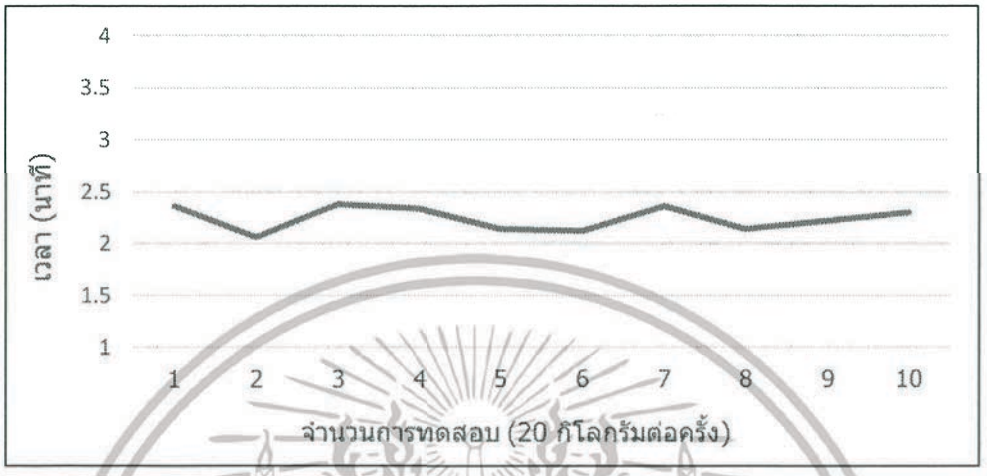
Material	Fe (%)	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	Ni (%)	Cr (%)	Hardness (HRC)
Eclipse saw blade	86.539	0.672	0.364	0.261	0.016	0.209	4.241	64
Stainless Steel 304	71.16	0.03	2	0.75	0.045	8	18	35.5

สรุป จากตารางเราจะพบว่า วัสดุใบมีดแบบ Stainless Steel มีปริมาณของ Fe และ Hardness ที่น้อยกว่า วัสดุใบมีดแบบ Eclipse saw blade แต่มีปริมาณ Cr ที่มากกว่าซึ่งจะทำให้ เหล็กนั้นทนทานต่อแรงเสียดสี และบริเวณที่เป็นรอยคมนั้นลบได้ยาก อีกทั้งยังทนทานต่อการเกิดสนิมและการกัดกร่อน เพราะถึงแม้ในการทดลองที่ 4.2.1 จะทราบว่าวัสดุใบมีดแบบ Eclipse saw blade จะมีความคมที่มากกว่าเพราะใช้แรงในการกดที่น้อยกว่า แต่เนื่องจากในการใช้ระยะยาวจะเห็นว่าวัสดุใบมีดแบบ Stainless steel มีความเหมาะสมมากกว่า ทั้งในการแปรรูปทางอาหารและการใช้งานในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการทดลองหากำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

การทดลองหากำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าของเครื่องที่ได้ทำการพัฒนา ซึ่งข้อมูลได้มาจากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ดังตารางก.2



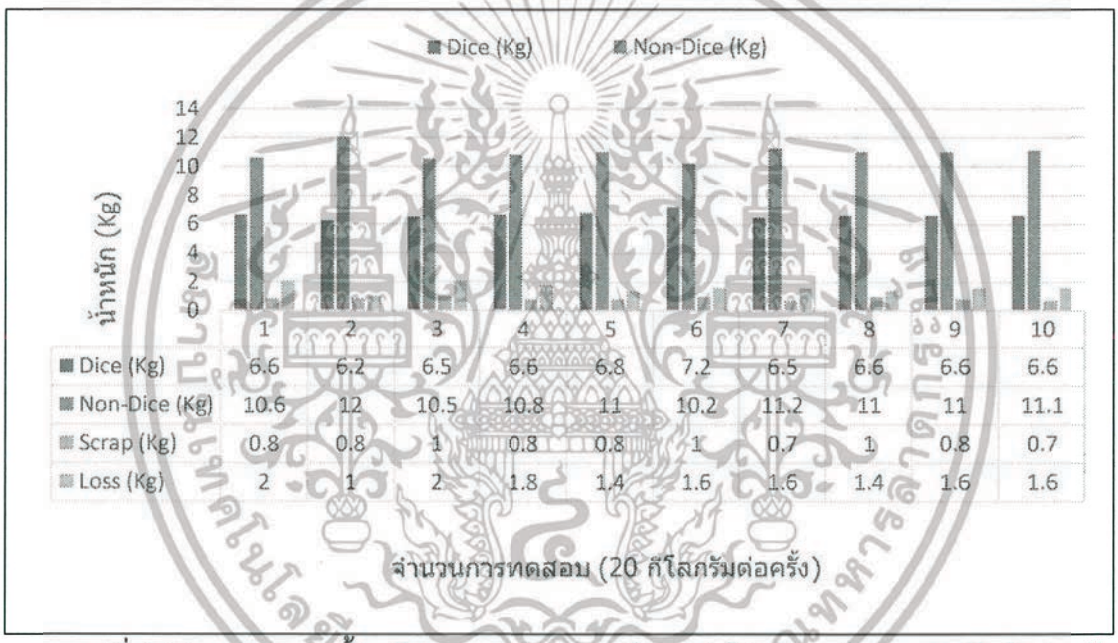
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟกำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้ทำการพัฒนา

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟที่แสดงกำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้พัฒนา ซึ่งได้ทำการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง พบว่าเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนา ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 2.252±0.28 นาที และมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 532.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลการทดลองหาความสามารถในการเป็นเต๋าสมบูรณ์, เต๋าไม่สมบูรณ์, เศษมันสำปะหลังและส่วนที่ล้นของไปของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

การทดลองหาความสามารถในการเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์, เต๋าไม่สมบูรณ์, เศษมันสำปะหลังและส่วนที่ล้นออกไป สามารถหาได้จากการเก็บข้อมูลของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนาขึ้นมา โดยทำการสุ่มหัวมันมาทั้งหมด 20 กิโลกรัม ทำการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ และจะทำการแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็น 4 ส่วน คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นลูกเต๋าสมบูรณ์, ผลิตภัณฑ์ที่เป็นลูกเต๋าไม่สมบูรณ์, ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเศษของมันสำปะหลังและส่วนที่ล้นออกไปของมันสำปะหลัง ดังข้อมูลจากตารางที่ 4.11



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dice (Kg)	6.6	6.2	6.5	6.6	6.8	7.2	6.5	6.6	6.6	6.6
Non-Dice (Kg)	10.6	12	10.5	10.8	11	10.2	11.2	11	11	11.1
Scrap (Kg)	0.8	0.8	1	0.8	0.8	1	0.7	1	0.8	0.7
Loss (Kg)	2	1	2	1.8	1.4	1.6	1.6	1.4	1.6	1.6

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงน้ำหนักของลูกเต๋าสมบูรณ์, ลูกเต๋าไม่สมบูรณ์, เศษของมันสำปะหลังและมันสำปะหลังที่ล้นออกมา

จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟที่แสดงน้ำหนักของลูกเต๋าสมบูรณ์, ลูกเต๋าไม่สมบูรณ์, เศษของมันสำปะหลังและมันสำปะหลังที่ล้นออกมา พบว่า ขนาดมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสมบูรณ์เฉลี่ย เท่ากับ 6.62 กิโลกรัม แบบลูกเต๋าไม่สมบูรณ์ เท่ากับ 10.94 กิโลกรัม เศษของมันสำปะหลังเท่ากับ 0.84 กิโลกรัม และส่วนของมันสำปะหลังที่ล้นออกไปเท่ากับ 1.6 กิโลกรัม จากการคำนวณข้อมูลทั้งหมดได้ความสามารถของการเป็นเต๋าสมบูรณ์ เท่ากับ 33.10 เปอร์เซ็นต์ เต๋าไม่สมบูรณ์เท่ากับ 54.7 เปอร์เซ็นต์ เศษของมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เท่ากับ 0.84 เปอร์เซ็นต์ และส่วนมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำปะหลังที่ล้นออกเท่ากับ 1.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (1) ถึง สมการที่ (4) ดังนี้

$$\frac{\text{นน. ทั้งหมด} - \text{นน. ของ}(B + \text{C} + D)}{\text{นน. ทั้งหมด}} x100 = \text{เปอร์เซ็นต์ในการเป็นเต๋าสมบูรณ์} \quad (1)$$

$$\frac{\text{นน. ทั้งหมด} - \text{นน. ของ}(\text{A} + D + \text{C})}{\text{นน. ทั้งหมด}} x100 = \text{เปอร์เซ็นต์ในการเป็นเต๋าไม่สมบูรณ์} \quad (2)$$

$$\frac{\text{นน. ทั้งหมด} - \text{นน. ของ}(\text{A} + \text{B} + D)}{\text{นน. ทั้งหมด}} x100 = \text{เปอร์เซ็นต์ในการเป็นเศษมัน} \quad (3)$$

$$\frac{\text{นน. ทั้งหมด} - \text{นน. ของ}(D + \text{A} + B)}{\text{นน. ทั้งหมด}} x100 = \text{เปอร์เซ็นต์ในการเป็นส่วนที่มันล้นออก} \quad (4)$$

โดยให้ A = เต๋าสมบูรณ์

B = เต๋าไม่สมบูรณ์

C = เศษของการมันสำปะหลัง

D = มันที่ล้นออกระหว่างทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเลือกวัสดุที่ใช้ทำใบมีดหั่นย่อย การหาชุดกดที่เหมาะสม การหากำลังผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าและความสามารถในการเป็นลูกเต๋าพบว่าเครื่องที่พัฒนามีความสามารถ ดังนี้

1.) ใบมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังที่เหมาะสม คือ ใบมีดสแตนเลส

2.) ชุดกดที่เหมาะสมในการกดมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า คือ ชุดกดแบบมีแท่งชี่สำหรับกดมันสำปะหลังให้ลงไปตามช่อง

3.) กำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้พัฒนามีความสามารถอยู่ที่ 532.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง

4.) ความสามารถในความเป็นเต๋าของเครื่องกดมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้พัฒนาแบ่งเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ 33.10 เปอร์เซ็นต์ เต๋าไม่สมบูรณ์ 54.7 เปอร์เซ็น เศษมันสำปะหลัง 0.84 เปอร์เซ็น และมีมันสำปะหลังล้นออก 1.6 เปอร์เซ็น

5.2 การอภิปรายผล

ชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยที่ได้ทำการออกแบบขึ้นใหม่ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้นใบมีดที่เลือกนำมาใช้มีโอกาสแตกหักที่น้อยลงทำให้ลดค่าซ่อมบำรุงได้มาก กำลังในการผลิตเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน สามารถลดเปอร์เซ็นต์การล้นออกและเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสมบูรณ์ ลดมันสำปะหลังที่ติดตามแท่งชี่ตลอดจนสามารถถอดประกอบออกมาซ่อมบำรุงได้ง่ายเนื่องจากใช้น็อตในการยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรออกแบบและปรับปรุงชุดกดมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าเนื่องจากมีมันสำปะหลังเข้าไปติดตามซอกของแท่งซี่ทำให้เกิดการติดขัดในการใช้งาน

5.3.2 ควรลดเปอร์เซ็นต์ของมันสำปะหลังที่ล้นออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล 2558. **การวิจัยและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลัง ให้เป็นแบบเต๋า กรมวิชาการ เกษตร วิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ศูนย์วิจัย เกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัย เกษตรวิศวกรรม** [Online]. Available : http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2088:

Mangesh Gaikwad 2015. **DEVELOPMENT OF SLICING AND CUBING MACINE FOR RAW MANGO, Agricultural Engineering Andand Agricultural University.** [Online]. Available : http://krishikosh.egranth.ac.in/displaybitstream?handle=1/97087

Grace,M.R.(1997). **Cassava processing. F.A.O. plant production and protection series no.3 FAO, Rome.** [Online]. Available : ftp://ftp3.us.freebsd .org/pub /misc/cd3wd/1004/_ag_cassava_processing_unfao_en_lp_104890_.pdf

ดนัย 2537. **การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังด้วยใบมีดหมุน**, สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [Online]. Available : http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/86971/6e61b046946877c60bba35f196f5082f?Resolve_DOI=10.14457/KU.the.2006.784

วิจิตรา หงษ์ศิริ 2549. **การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังด้วยใบมีดหมุน**, สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [Online]. Available : http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Down load/86969/1bc917c28f901f7d2d519d1cb6079226?Resolve_DOI=10.14457/KU.the.2006.784

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2015. **มันสำปะหลัง : การผลิตมันสำปะหลัง**[Online]. Available : http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17882

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2015. **มันสำปะหลัง : ลักษณะและทางพฤกศาสตร์.**[Online]. Avaliable : http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17856

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม(ต่อ)

ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. **พันธุ์มันสำปะหลัง.** [Online]. Avaliable : http://web.sut.ac.th/cassava/index.php?name=1cas_source/cas_source/

มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. **ความเค้น.** [Online]. Avaliable : http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Solid/Lesson_1/new_page_4.htm

Starfish. 2013. **เจาะลึกมีดทำครัวกับนาย Starfish-เจาะลึกเครื่องครัว.** [Online]. Avaliable : https://thinkofliving.com/article

Purchasing Industial Product. **การส่งกำลังโดยใช้สายพาน.** [Online]. Avaliable : http://www.thaipurchasing.com/article/p-679

แหล่งรวมเทคนิคของช่างไทย. **โซ่ส่งกำลัง (Chain Transmission).** [Online]. Avaliable : https://www.thaimechanic.com/article-124-read.html

Manufacture Overhaul Rapid and Optimal. **ระบบส่งกำลังด้วยเฟือง.** [Online]. Avaliable : http://www.moro.co.th/%E0%B8%

อภิชาติ พานิชกุล และ อุษณีย์ กิตกำธร. **การวัดความแข็ง.** [Online]. Avaliable : http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Measurement_Of_Hardness.html

บริษัท กรุงเทพเหล็กกล้า จำกัด. **คุณสมบัติของธาตุต่าง ๆ เมื่อผสมลงไปในเหล็ก.** [Online]. Avaliable : http://www.bssteel.co.th/knowledge-detail-2.php

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. **Optical Emission Spectrometer.** [Online]. Avaliable : http://app.eng.ubu.ac.th/~ie/metrial/1302423%20/Chemical%20analysis.ppt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

ลำดับ	ลักษณะทางกายภาพ		
	กว้าง (เซนติเมตร)	ยาว (เซนติเมตร)	หนา (เซนติเมตร)
1	10	43	7
2	7.9	28	4.3
3	7.9	31	6.7
4	8.8	9	6
5	6.7	22	5
6	7.3	14	5.7
7	6.2	15	4.2
8	7.3	25	5.2
9	4.9	24	4.2
10	5.8	28	8.3
11	8.5	28	7.2
12	5.9	23	5.5
13	8.7	28	5.7
14	4.7	39	4.9
15	6	21	5.7
16	5.5	27	4.8
17	5.7	24	4.7
18	5	23	5.5
19	4.4	31	6.4
20	5.8	28	4.3
21	5.6	23	5.4
22	9.1	19	6
23	4	24	4.5
24	6.6	20	5.5
25	6	34	10
26	6.6	32	4.4
27	6.8	29	5.4
28	6.3	35	5.2
29	6.2	25	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60(ต่อ)

30	5.2	33	9
31	4.6	30	5.1
32	3.8	28	5.1
33	7.2	50	5.6
34	5.9	31	4.1
35	4.9	40	5.4
36	6	27	5.3
37	5	25	6.2
38	4.2	20	5.7
39	5	36	4.4
40	7.9	30	5.2
41	5.5	27	4.8
42	5.2	25	5.3
43	7.9	26	5.3
44	6.9	36	4.9
45	5.1	27	7.1
46	6	36	5.7
47	7.1	27	4.7
48	6.3	36	6.4
49	4.9	23	6.3
50	7.9	30	4
51	6.1	35	3.5
52	8.4	34	5.2
53	7.3	27	4.2
54	5.1	16	5.9
55	10	18	4.6
56	6	36	4.5
57	4.8	24	3.9
58	5.5	34	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60(ต่อ)

59	5.9	23	3.8
60	5.7	27	4.8
61	5.7	14	4.6
62	7.2	37	3.3
63	5.7	26	2.7
64	4.3	35	6.1
65	7.1	17	1.3
66	4.9	33	6.6
67	7.1	15	9.2
68	4.2	26	7.6
69	3.8	18	6.6
70	5.5	28	6.3
71	5.7	20	6.2
72	6.1	31	6.8
73	5.2	21	7.6
74	4.4	49	7.7
75	5	29	5
76	4.2	32	5.6
77	5.1	29	7.2
78	3.9	19	4.1
79	2.8	30	4.9
80	7.7	25	5.7
81	8.8	42	4.3
82	6.7	30	5.4
83	7.3	27	6.2
84	6.2	23	7.2
85	8.5	20	5.5
86	8.7	17	6
87	6	41	6.2
88	9.1	32	10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60(ต่อ)

89	10	21	4.4
90	6.6	20	6.5
91	6.1	29	5.8
92	6.2	25	4.3
93	5.2	36	4
94	7.2	27	5.4
95	4.9	40	5
96	3.8	34	4.6
97	4.7	22	7
98	7.7	20	5
99	4	35	6.1
100	5	29	5.3
Average	6.158	27.73	5.542

ตารางที่ ก.2 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที

ลำดับ	ลักษณะทางกายภาพ		
	กว้าง (เซนติเมตร)	ยาว (เซนติเมตร)	หนา (เซนติเมตร)
1	10.5	30.2	8.2
2	8.2	35.4	7.4
3	7.3	18.6	6.9
4	9.7	29.2	9.1
5	7.9	25.9	7.6
6	9.5	32.1	8.3
7	11.1	37.5	10.5
8	9.9	29.9	9.3
9	10.8	30.7	10.2
10	6	20.3	5.4
11	7.9	28.8	5.7
12	7.2	25.5	7
13	9.1	23.3	8.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที(ต่อ)

14	5.9	16.7	5.7
15	9.1	30.2	8.4
16	8.7	32.8	8
17	11	40.4	10.2
18	7	19.7	6.5
19	7.8	26	7.7
20	8.9	29.7	8.2
21	7.9	23.6	7
22	9	35.2	8.7
23	7.2	17.7	7
24	7.9	19.3	7.8
25	9	29.8	8.7
26	8.7	27.2	8.4
27	10.2	30.3	9.4
28	8.2	26.4	8.1
29	8.3	31.3	8.2
30	9.5	32.6	8.3
31	10.7	36.7	10.6
32	10.2	30.9	10
33	4.8	12.6	4.6
34	9.5	27.4	9.4
35	9	26.2	8.6
36	9.4	34.1	8.9
37	10.9	36.4	10.7
38	4.1	11	3.7
39	7.8	26	7.1
40	8.6	27.6	8.1
41	10.5	30	8.2
42	7.9	25.1	7.4
43	6	20	5.8
44	9.1	23.5	8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที(ต่อ)

45	7.3	25	7
46	11.6	38.1	11.2
47	9.7	29	9.3
48	9.4	29.8	9.1
49	9.5	32.9	8.7
50	10.8	30.7	10.3
51	10.8	30.1	10.1
52	9.4	23.9	9.2
53	7.2	25.1	7.1
54	8.5	35.8	8.2
55	7.8	28.7	7.3
56	8.3	17.8	7.4
57	9.1	29.3	8.7
58	11.1	37.5	10.5
59	9.4	32.7	8.7
60	9.8	29.4	9.6
61	7.9	23.6	7
62	10.2	30.3	9.4
63	6.9	20.3	6.4
64	9.4	34.1	8.9
65	9	26.2	8.4
66	10.2	30.6	9.1
67	5.96	28.4	5.41
68	12.7	35	11.9
69	9.7	29.4	9.4
70	7.1	19.4	6.7
71	10.5	32	8.2
72	9.8	36.4	9.7
73	10.4	38.9	10.1
74	9.7	30.2	9.5
75	10.2	28.9	9.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที(ต่อ)

76	8.2	31.9	7.4
77	8.9	11	8.4
78	8.8	27.5	8.3
79	9.1	25.4	8.4
80	9.1	23.1	8.4
81	7.2	25.9	7
82	7.9	28.5	6.7
83	6	20.6	5.4
84	10.8	30	10.2
85	9.8	29.3	9.6
86	10.8	30.6	9.8
87	7.2	17.8	7
88	7.8	27	7.2
89	9.1	29.3	8.5
90	9.5	32.8	8.9
91	8.4	17.8	8
92	8.5	27.9	8.4
93	9.5	28.4	9.1
94	7.2	29.1	8.3
95	8.6	27.1	9.5
96	8.2	19.5	7.5
97	7.1	32.1	9.6
98	9.3	33.5	8.4
99	9	29.6	8.8
100	8.8	28.4	9.1
Average	8.8206	27.874	8.3211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 การทดสอบหาแรงกดที่กระทำกับเนื้อมันสำปะหลัง

	จำนวนครั้ง	Force (N)					
		Bottom		Middle		Top	
		Eclipse blade	Stain-less Steel	Eclipse blade	Stain-less Steel	Eclipse blade	Stain-less Steel
ใหญ่	1	121.347	170.367	235.696	206.139	164.992	130.924
	2	121.857	195.815	199.661	132.811	134.106	92.894
	3	100.902	152.698	187.358	162.838	188.497	199.727
	4	101.489	161.982	196.192	236.148	204.549	155.074
	5	77.918	160.654	138.076	220.518	165.851	131.637
	6	97.62	195.123	155.108	250.922	187.907	147.947
	7	126.826	144.691	164.971	212.154	196.875	144.924
	8	164.314	92.174	190.26	174.813	159.496	188.999
	9	149.793	123.797	140.811	102.935	161.623	133.732
	10	126.257	101.104	172.195	162.212	74.804	123.543
Average		118.832	149.84	178.033	186.149	163.87	144.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 การทดสอบหาแรงกดที่กระทำกับเนื้อมันสำปะหลัง(ต่อ)

	จำนวนครั้ง	Bottom		Middle		Top	
		Eclipse blade	Stain-less Steel	Eclipse blade	Stain-less Steel	Eclipse blade	Stain-less Steel
กลาง	1	130.261	116.254	199.35	183.946	99.056	183.153
	2	153.807	96.93	145.511	166.634	71.511	152.166
	3	112.919	119.843	142.781	186.569	99.279	196.184
	4	145.07	164.891	136.915	163.087	130.755	184.301
	5	121.637	136.373	120.624	165.722	137.836	113.528
	6	122.281	125.167	123.261	149.842	127.972	128.803
	7	122.17	82.981	82.318	122.742	83.071	179.055
	8	130.724	105.753	148.351	134.267	57.394	75.759
	9	111.039	111.484	91.915	109.263	116.584	185.959
	10	145.795	113.654	137.631	166.128	108.084	174.309
Average		129.57	117.333	132.866	154.82	103.154	157.322

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 การทดสอบหาแรงกดที่กระทำกับเนื้อมันสำปะหลัง(ต่อ)

	จำนวนครั้ง	Bottom		Middle		Top	
		Eclipse blade	Stain-less Steel	Eclipse blade	Stain-less Steel	Eclipse blade	Stain-less Steel
เล็ก	1	104.35	83.432	109.275	132.778	134.386	147.193
	2	83.344	86.742	102.659	114.243	153.82	134.034
	3	77.475	93.207	113.789	113.977	132.229	152.03
	4	87.189	71.578	99.053	88.238	131.185	104.623
	5	72.034	69.628	112.852	104.558	118.084	151.202
	6	95.875	79.11	117.753	72.593	149.373	116.721
	7	88.146	67.153	123.893	108.773	149.65	145.239
	8	97.487	117.055	111.967	100.28	142.754	145.775
	9	85.199	119.636	109.945	92.203	130.939	153.147
	10	63.314	98.262	89.68	87.388	120.447	111.414
Average		85.441	88.58	109.87	101.53	136.287	136.138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 กำลังการผลิตของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้ทำการพัฒนา

จำนวนครั้ง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	40	2.36±0.28
2	40	2.16±0.28
3	40	2.38±0.28
4	40	2.34±0.28
5	40	2.14±0.28
6	40	2.12±0.28
7	40	2.36±0.28
8	40	2.14±0.28
9	40	2.22±0.28
10	40	2.3±0.28
Average		2.252±0.28

ตารางที่ ก.5 เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการเป็นเต๋าของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้รับการพัฒนา

จำนวนครั้ง	Dice (Kg)	Non-Dice (Kg)	Scrap (Kg)	Loss (Kg)
1	6.6	10.6	0.8	2
2	6.2	12	0.8	1
3	6.5	10.5	1	2
4	6.6	10.8	0.8	1.8
5	6.8	11	0.8	1.4
6	7.2	10.2	1	1.6
7	6.5	11.2	0.7	1.6
8	6.6	11	1	1.4
9	6.6	11	0.8	1.6
10	6.6	11.1	0.7	1.6
Average	6.62	10.94	0.84	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการเป็นเต๋าของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ได้รับการพัฒนา(ต่อ)

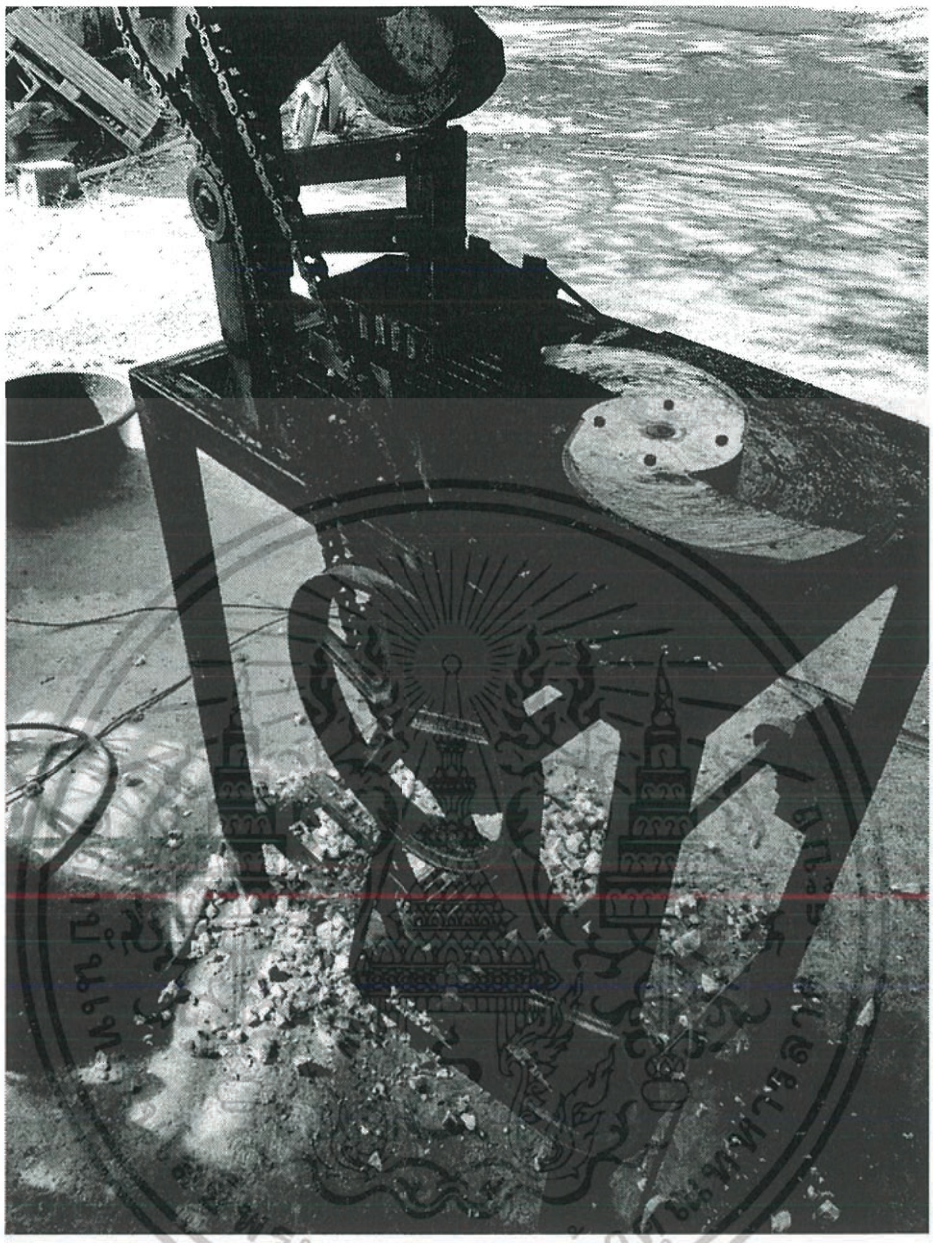
Product	% Percent
Dice	33.10%
Non-Dice	54.70%
Scrap	4.20%
Loss	8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

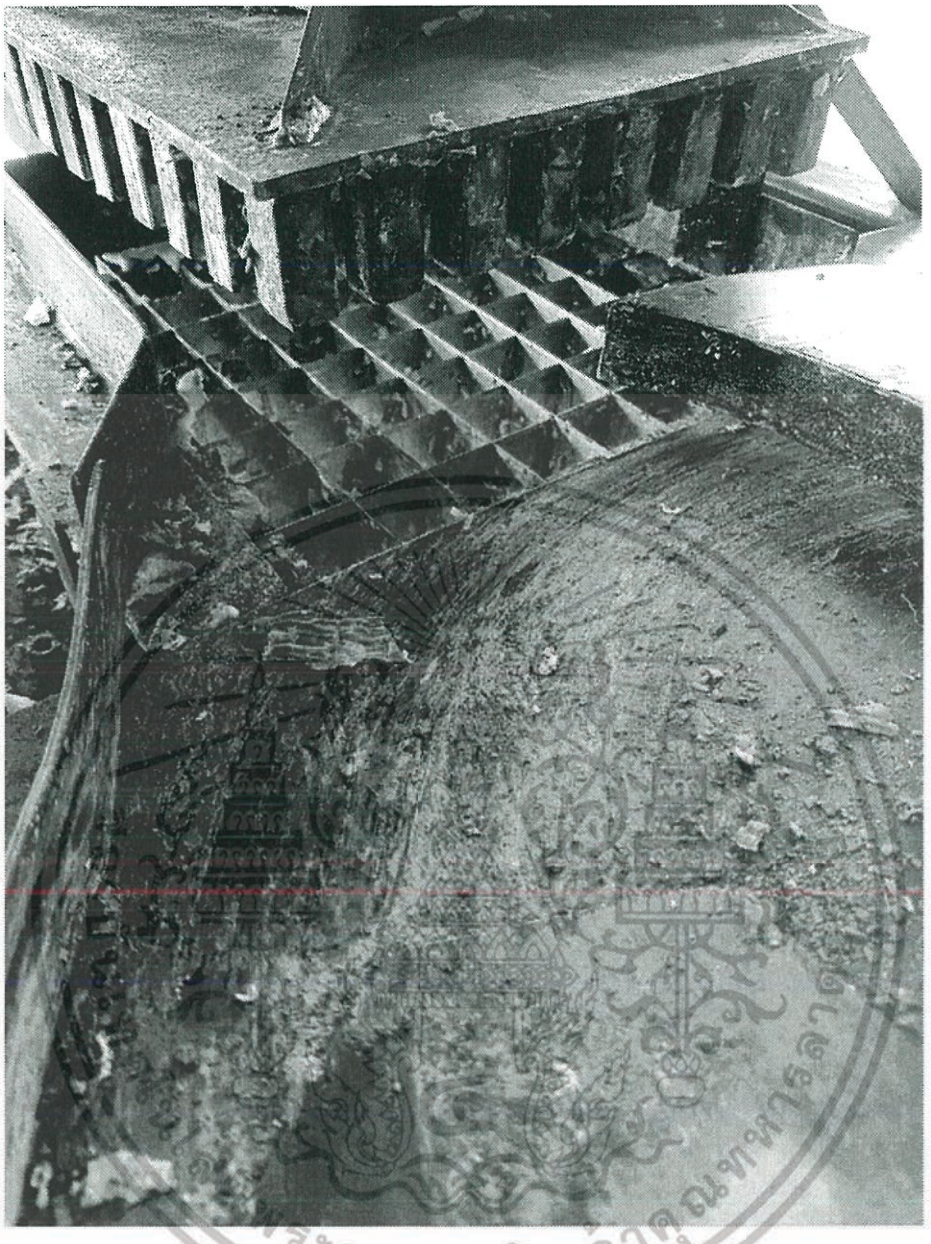
เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าและผลผลิตที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ทำการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 ชุดกดและชุดมีดหั่นย่อยมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 ผลผลิตที่ได้จากเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสมบูรณ์

รูปที่ ข.4 ผลผลิตที่ได้จากเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้