รายงานการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพกรรมวิธีการแปรรูปมะขามจี๊ดจ๊าด สำหรับธุรกิจชุมชน

Increasing Performance Efficiency of Super Sour Tamarind Manufacturing Process for Community Business.

วิทยา หนูช่างสิงห์และคณะ

สาขาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2562

PCRU_2562_KN007

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มประสิทธิภาพกรรมวิธีการแปรรูปมะขามจี๊ดจ๊าดสำหรับธุรกิจชุมชน

Increasing Performance Efficiency of Super Sour Tamarind Manufacturing Process for Community Business.

วิทยา หนูช่างสิงห์ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ธนภัทร มะณีแสง สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
งบประมาณแผ่นดิน โดยผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประเภททุน โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างองค์ความรู้พื้นฐานของประเทศ
ประจำปีงบประมาณ 2562

ชื่องานวิจัย การเพิ่มประสิทธิภาพกรรมวิธีการแปรรูปมะขามจี๊ดจ๊าดสำหรับธุรกิจชุมชน
ผู้วิจัย วิทยา หนูช่างสิงห์
ผู้ร่วมวิจัย/ที่ปรึกษา ธนภัทร มะณีแสง
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิตการจัดการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดในธุรกิจระดับชุมชนโดยการแก้ปัญหากระบวนการผลิตแบบเดิม ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การลดขั้นตอน จำนวนแรงงาน เวลาการผลิต โดยการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ในระยะแรกเป็นการออกแบบเครื่องจักร ระยะที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร และระยะที่ 3 เป็นการทดสอบเครื่องจักรร่วมกับชุมชน โดยใช้การประเมินผลลัพธ์จากการประเมินความพึงพอใจของตัวแทนจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการแปรรูปมะขามจี๊ดจ๊าด จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า 1 รอบการทำงานามารถผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดประมาณ 1 กิโลกรัมโดยใช้เวลาประมาณ 1 นาที ซึ่งรวดเร็วกว่าใช้แรงงานคนที่ผลิตได้เพียง 40-50 กิโลกรัมต่อวัน ถ้าหากต้องการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดในจำนวนเท่ากันโดยใช้เครื่องจักรจะใช้เวลาในการผลิตเพียง 1-2 ชั่วโมงเท่านั้น ส่วนการประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการพบว่า โดยภาพรวมแล้วพบว่า คะแนนความพึงพอใจในเครื่องจักรเท่ากับ 3.90 คะแนน ในด้านที่มีความพึงพอใจมากที่สุดคือ ระบบความปลอดภัย ระบบควบคุมไฟฟ้า ตำแหน่งสวิตซ์การควบคุมระบบส่งกำลังที่มีการออกแบบโดยคำนึงถึงความปลอดต่อผู้ปฏิบัติงาน และด้านการออกแบบที่มีคะแนนใกล้เคียงกัน ซึ่งในภาพรวมสามารถออกแบบให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้งานได้ง่าย ส่วนด้านที่ได้รับความพึงพอใจน้อยที่สุดคือความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเนื่องจากเครื่องจักรมีน้ำหนักมากและการความสะดวกในการถอดชิ้นส่วนในการทำความสะอาด ถ้าหากสามารถแก้ในประเด็นนี้ก็จะสามารถนำไปต่อยอดให้เป็นเชิงพานิชเพื่อขยายองค์ความรู้และเทคโนโลยีกระบวนการผลิตแบบใหม่นี้ให้แก่ผู้ที่สนใจทำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ประโยชน์ในธุรกิจระดับชุมชนได้

คำสำคัญ : การแปรรูปสินค้าเกษตร กลุ่มวิสาหกิจชุมชน เครื่องจักรกล

Title Increasing Performance Efficiency of Super Sour Tamarind Manufacturing Process for Community Business.

Author Wittaya Nuchangsing

Co-Researcher Thanapat Maneesaeng

Branch Production Engineering and Management

Phetchabun Rajabhat University 2019

Abstract

The objective of this research is to develop the tamarind production process in the community level by solving the problems of traditional production. Which focuses on reducing the number of labor processes, production time by operation, divided into 3 phases, in the first phase is the design of the machine, phase 2 is the performance testing of the machine, and the third phase is testing the machine together with the community. By evaluating results from the evaluation of the satisfaction of representatives from community enterprise groups who have experience in the processing of tamarind seed From the test, it can be concluded that 1 round of car production produces approximately 1 kilogram of tamarind, which takes about 1 minute, which is faster than using only 40-50 kilograms of labor per day. If you want to produce the same amount of tamarind, using the machine, it will take only 1-2 hours to produce. As for the satisfaction assessment of entrepreneurs, it was found that Overall, it was found that the satisfaction score in the machine is 3.90 points. The most satisfying aspect is security system Electrical control system Power transmission control switch position that is designed with regard to operator safety. And design with similar scores which in the overall picture can be designed for the operator to be able to use easily the side that received the least satisfaction was the ease of moving due to the heavy weight of the machine and the ease of disassembly in cleaning. If able to solve this issue, it will be able to be extended to a commercial level. To expand the knowledge and technology of this new production process to those interested in using this technology for use in the community-level business.

Keywords : Agricultural Product Processing, Communal Venture, Machine

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้และขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

วิทยา หนูช่างสิงห์และคณะ

30 กรกฎาคม 2562

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

กิตติกรรมประกาศ ..... ข

สารบัญตาราง ..... จ

สารบัญรูป ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 5

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย 5

1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการ 6

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 มะขามเปรี้ยว 8

2.2 การแปรรูปมะขามเปรี้ยว 11

2.3 การลดขนาด (Size reduction) 15

2.4 ส่วนประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 17

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 37

3.1 หลักการทำงานของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 39

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 43

3.3 การทดสอบการทำงาน 55

บทที่ 4 ผลการวิจัย 57

4.1 การทดสอบเบื้องต้น 46

4.2 ผลลัพธ์การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องจักร 50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 51
5.1 สรุปผลการวิจัย 51
5.2 ข้อเสนอแนะ 52
บรรณานุกรม 53
ภาคผนวก 56
ส่วนประกอบของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 57
ภาพเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 61
คู่มือการใช้เครื่องจักร 65
ประวัติคณะผู้วิจัย 68

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 พื้นที่การปลูก ผลผลิตมะขามพันธุ์เปรี้ยวยักษ์ 11 อำเภอ ในจังหวัด เพชรบูรณ์ -..... 3

4-1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 48

4-2 การประเมินความคิดเห็นผู้ทดลองใช้งานเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 49

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2-1 ต้นมะขามเปรี้ยวยักษ์ ... 8
2-2 ฝักมะขามเปรี้ยวยักษ์ ... 9
2-3 ขนาดฝักมะขามเปรี้ยวยักษ์ ... 10
2-4 มะขามเปียกและน้ำมะขามเปียก ... 12
2-5 มะขามจี๊ดจ๊าด ... 13
2-6 มะขามแช่อิ่ม ... 14
2-7 มะขามคลุกบ๊วย ... 14
2-8 Dicers ... 17
2-9 สกรูชนิดต่างๆ ... 20
2-10 โบลต์หัวหกเหลี่ยมพร้อมนัต ... 21
2-11 นัต (NUT) ชนิดต่างๆ ... 21
2-12 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ... 26
2-13 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ... 27
2-14 สวิตช์ปุ่มกดที่มีหลอดสัญญาณติดอยู่ (Illuminated push button) ... 28
2-15 ลักษณะของโซ่ ... 32
3-1 ระบบการทำงานของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน ... 38
3-2 กลไลการทำงานเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน ... 38
3-3 โครงสร้างเครื่องจักร ... 39
3-4 ชุดใบมีดคู่สำหรับนั่นเนื้อมะขาม ... 39
3-5 ใบคลุกมะขาม ... 40
3-6 ถังผสม ... 40
3-7 หวีรองใบมีดแซะเนื้อมะขาม ... 41
3-8 ชุดประคองเพลาใบมีด ... 41
3-9 มอเตอร์ส่งกำลัง ... 42
3-10 วงจรควบคุมการทำงาน ... 42
3-11 ชุดควบคุม ... 43
4-1 เครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน ... 45

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

4-2 แบบชุดใบมีดคู่สำหรับหั่นเนื้อมะขาม 46

4-3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 47

4-4 มะขามจี๊ดจ๊าดที่ได้จากเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน 48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สินค้าทางการเกษตรมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากลักษณะของภูมิประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติสูงจึงเอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร โดยสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลากหลายชนิดออกมาสู่ผู้บริโภคทั้งภายในประเทศได้ตลอดทั้งปี อีกทั้งยังสามารถนำส่วนเกินที่เหลือจากการบริโภคภายในประเทศส่งออกเพื่อจำหน่ายในต่างประเทศสามารถนำเงินตราเข้าประเทศเป็นจำนวนมาก ผลไม้นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญประเภทหนึ่งที่นิยมบริโภคกันทั่วไปทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยสามารถทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาท ความต้องการบริโภคผลไม้นับวันจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากสาเหตุหลักคือจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นและความสนใจในสุขภาพ ในการผลิตผลไม้ถือได้ว่าไทยเป็นประเทศที่มีสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อปลูก ทำให้สามารถปลูกผลไม้เมืองร้อนได้หลากหลายชนิด ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีในการทำให้มีผลไม้หมุนเวียนออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา จากมูลค่าการส่งออกของผลไม้เมืองร้อนมีมูลค่าสูงถึง 2.3 หมื่นล้านบาทในปี 2555 และได้ขยายตัวเป็น 3.6 หมื่นล้านบาทในปี 2558 ปัจจัยหนุนจากความนิยมของผู้บริโภคในประเทศจีนและฮ่องกงเป็นหลัก ปี 2558 ทั้งสองประเทศนำเข้าผลไม้เมืองร้อนมากกว่าร้อยละ 60 ของตลาดโลก ที่สำคัญคือ ไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกอันดับหนึ่งด้วยสัดส่วนร้อยละ 31 ของโลก แสดงให้เห็นถึงความต้องการบริโภคผลไม้นับวันจะเพิ่มสูงขึ้น สำหรับผลไม้ที่เป็นที่นิยมมากที่สุดของผู้บริโภคชาวจีน ได้แก่ ทุเรียน มังคุด ลำไย กล้วยไข่ มะม่วง เงาะ ส้มสายน้ำผึ้ง และหนึ่งในนั้นคือ มะขาม (โครงการศึกษาการขยายตลาดผลไม้สดไทยไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีน ภายใต้การเปิดเขตการค้าเสรีไทย-จีน) จากข้อมูลของพานิชจังหวัดเพชรบูรณ์พบว่าจีนเป็นแหล่งค้ามะขามแหล่งใหญ่ของจังหวัดเพชรบูรณ์และผู้ประกอบการในจังหวัดเพชรบูรณ์ก็มีความประสงค์ที่จะติดต่อค้าขายกับผู้ประกอบการจีนมากขึ้น และนอกจากจีนแล้วยังมีแหล่งจำหน่ายมะขามในต่างประเทศอื่นๆ ประกอบด้วย สิงคโปร์ มาเลเซีย ซาอุดิอาระเบีย สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดเพชรบูรณ์) มะขามเป็นผลไม้ที่มีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาผลไม้ชนิดอื่น ปลูกง่าย โตเร็ว แข็งแรง ทนทานต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้ง อีกทั้ง มะขามเป็นผลไม้ชนิดเดียวของไทยที่ไร้คู่แข่งในตลาดโลก เพราะไม่มีประเทศไหนที่ปลูกได้ดีเหมือนประเทศไทย ซ้ำยังเป็นที่ต้องการ

ของหลายประเทศ ที่สำคัญยังเป็นผลไม้ที่เกษตรกรไม่ต้องรีบขาย สามารถเก็บไว้ได้นานเป็นเดือน ซึ่งมะขามหวานเพชรบูรณ์ได้รับการจดทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Thai Geographical Indication) หรือตราสัญลักษณ์ GI จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ซึ่งสาเหตุที่มะขามหวานเพชรบูรณ์ได้ตรา GI นั้น เพราะสภาพดินฟ้าอากาศที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเจ้าผลไม้ชนิดนี้ ซึ่งดินส่วนใหญ่ในจังหวัดเพชรบูรณ์เป็นดินร่วน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 5.5-6.5 มีฝนตกไม่ชุกนักจึงไม่มีปัญหาเรื่องเชื้อเหมือนจังหวัดอื่นๆ นอกจากนี้ ดินในจังหวัดเพชรบูรณ์ยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม ซึ่งเป็นระยะที่ฝักสุก ทำให้มะขามหวานเพชรบูรณ์ฝักใหญ่ เปลือกสีน้ำตาลเนียนสวย เนื้อหนาสวย สม่ำเสมอ มีรสหวานหอม แตกต่างจากจังหวัดอื่น พันธ์มะขามที่นิยมปลูกกันมากเพราะสามารถขายได้ดีได้แก่ พันธุ์สีทอง พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ประกายทอง เทพ เพียงมะลัง (2553) ถ้าหากพิจารณาข้อมูลของเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์พบว่าในปี 2555 จังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ปลูกมะขามหวานประมาณ 50,524 ไร่ ซึ่งปลูกมากที่สุดที่อำเภอเมือง อำเภอชนแดน และ อำเภอหล่มเก่า ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ถึง 32 ล้านกิโลกรัม (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์) มะขามหวานเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้แก่ผู้ปลูกอย่างมาก มะขามหวานเป็นพืชสัญลักษณ์สำคัญของจังหวัดเพชรบูรณ์มานาน

นอกจากมะขามหวานซึ่งกำลังเป็นที่นิยมแล้ว มะขามเปรี้ยวก็เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกพืชหนึ่ง โดยความต้องการของตลาดมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ปริมาณการส่งออกมะขามเปียก ปี 2554 มีจำนวน 3,150 ตัน คิดเป็นมูลค่าส่งออก 76.03 ล้านบาท ซึ่งเพิ่ม จากปี 2553 ที่มีปริมาณการส่งออก 2,011 ตัน มูลค่าการส่งออก 42.03 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจ การเกษตร 2555) ตลาดต่างประเทศที่สำคัญได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ ประเทศตะวันออกกลาง สหรัฐอเมริกา สมพงษ์ และคณะ (2558) มะขามเปรี้ยมจะเริ่มให้ผลผลิตได้เมื่อ อายุประมาณ 5-6 ปี แหล่งที่มีการปลูกมะขามเปรี้ยวกันมากที่สุดคือภาคตะวันออกเฉลียงเหนือ ในจังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา ศรีสะเกษ สกลนคร อุดรธานี และ อุบลราชธานี ส่วนภาคเหนือ จังหวัดลำปาง เพชรบูรณ์ เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน สมพงษ์ และคณะ (2558)

มะขามเปรี้ยวมีลักษณะฝักใหญ่ยาว แบนโค้งเล็กน้อย ให้เนื้อมากจึงได้รับความนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย มะขามเปรี้ยวแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ มะขามขี้แมว เป็นพันธุ์มะขามเปรี้ยวที่มีขนาดเล็กสั้น ฝักกลมเนื้อน้อยเปลือกหนา และมะขามกระดาน เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพราะมีขนาดฝักยาว ใหญ่ ให้เนื้อมาก มะขามเปรี้ยวแบ่งออกเป็นหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์ศรีษะเกษ 014 พันธุ์ศรีษะเกษ 119 พันธุ์เปรี้ยวยักษ์ พันธุ์ฝักดาบ มะขามพันธุ์เปรี้ยวยักษ์มีต้นกำเนิดมาจากการกลายพันธุ์มาจากมะขามกระดาน

จากอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี นำมาปลูกโดย พลโทรวมศักดิ์ ชัยโกมินทร์ อดีตแม่ทัพภาคที่ 3 จังหวัดพิษณุโลก ได้มะขามเปรี้ยวยักษ์ฝักใหญ่ขนาด 4-5 ฝัก/กิโลกรัม มีลักษณะทั่วไปคือ ลำต้นใหญ่ เป็นพืชทนแล้ง ให้ผลดก ติดฝักง่าย กิ่งจะขยายออกด้านข้าง ให้เนื้อมากกว่ามะขามเปรี้ยวทั่วๆไป ผลผลิตประมาณ 1 ตัน/ต้น แหล่งปลูกมะขามเปรี้ยวที่สำคัญส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา ศรีษะเกษ สกลนคร อุดรธานี และอุบลราชธานี ส่วนภาคเหนือ ได้แก่ ลำปาง เพชรบูรณ์ เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน มีเกษตรกรจำนวน 13,841 ครัวเรือนที่ทำการปลูกมะขามเปรี้ยวมีผลผลิตรวม 2,812,375 กิโลกรัม/ปีราคาของมะขามเปรี้ยวขายได้เฉลี่ย 29.24 บาท/กิโลกรัม ราคาขาย (พ.ศ.2554) ราคามะขามเปรี้ยวแพงมากมะขามเปียกแกะเปลือกแกะเมล็ดขายราคาจากสวนกิโลกรัมล่ะ 150 บาทในขณะที่มะขามหวานพันธุ์สีทองขายอยู่ที่กิโลกรัมล่ะ 80 ในประเทศไทยมีการปลูกมะขามเปรี้ยวมากที่สุดอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือคือ จังหวัดขอนแก่น จากการสำรวจของกระทรวงการเกษตร 2554-2558 ในการเก็บข้อมูลจากเกษตรกรชาวสวนมะขาม 5 อำเภอในจังหวัดเพชรบูรณ์ ได้แก่ อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ อำเภอชนแดน อำเภอหล่มสัก อำเภอหล่มเก่า อำเภอหนองไผ่ มีเกษตรกรจำนวน 149 ครัวเรือน ที่มีการปลูกมะขามเปรี้ยวมีพื้นที่การปลูกมะขามเปรี้ยวทั้งหมด 1,337 ไร่มีผลผลิตมะขามเปรี้ยว 814,700กิโลกรัม/ปีมีราคาอยู่ที่ 11.39 บาท/กิโลกรัม จากข้อมูลการปลูกและผลผลิตมะขามเปรี้ยว 5 อำเภอในจังหวัดเพชรบูรณ์ของกระทรวงเกษตรแสดงในตาราง

ตารางที่ 1-1 แสดงพื้นที่การปลูก ผลผลิตมะขามพันธุ์เปรี้ยวยักษ์ 11 อำเภอ ในจังหวัด เพชรบูรณ์ ในปี 2554-2558

ปีพื้นที่การปลูกและผลผลิต	จำนวน (ครัวเรือน)	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิตทั้งหมด (กิโลกรัม)	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
2554	128	1,057	1,865,025	14.15
2555	128	1,249	1,326,546	20.73
2556	130	1,319	1,261,291	7.24
2557	124	1,374	765,700	10.99
2558	149	1,337	814,700	11.39

ที่มา **กรมส่งเสริมการเกษตร**.2558, 31 **มีนาคม**.

ในงานวิจัยของ เทพ เพียมะลัง และจินตนา สนามชัยสกุล (2555) พบว่ามีแนวโน้มความต้องการการบริโภคมะขามเปรี้ยวเพิ่มมากขึ้น โดยมะขามเปรี้ยมสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท ซึ่งถ้าหากเก็บฝักขาย เกษตรกรสามารถขายมะขามได้ในราคา 7-10 บาทต่อกิโลกรัม แต่ถ้าหากผ่านกระบวนการแปรรูป สามารถขายได้เฉลี่ย 87.5 บาทต่อกิโลกรัม มูลค่าที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 800 ดังนั้นผู้ประกอบการจึงนิยมที่จะนำมะขามเปรี้ยวมาแปรรูป เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถรับประทานมะขามเปรี้ยวได้ง่าย รวมไปถึงความหลากหลายของตัวผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมะขามเปรี้ยวไปแปรรูปได้มากมาย ทำให้ผู้บริโภคมีทางเลือกที่หลากหลายมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากมะขามเปรี้ยวได้แก่ มะขามจี๊ดจ๊าด มะขามคลุกจี๊ดจ๊าด มะขามแก้ว มะขามเคี้ยวหนึบ มะขามแช่อิ่ม มะขามเปียก น้ำมะขามพร้อมดื่ม ในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ที่มียอดจำหน่ายมากสุดคือ มะขามคลุกจี๊ดจ๊าดแบบกระปุก ขนาดบรรจุ 160 กรัม โดยวางจำหน่ายในร้านสะดวกซื้อและร้านขายของฝาก สัดส่วนยอดขายอยู่ที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอื่นๆ เช่น มะขามแก้ว มะขามเคี้ยวหนึบ กลุ่มลูกค้าเป้าหมายแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ประเภทร้านสะดวกซื้อในประเทศ และลูกค้าต่างประเทศที่เน้นกลุ่มเอเชียเป็นหลัก มีสัดส่วนการตลาด คือ 70 เปอร์เซ็นต์และ 30 เปอร์เซ็นต์ (บริษัท สารัชมาเก็ตติ้ง จำกัด) ในการศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลของไทยตำบลดอทคอมพบว่า มีผู้ประกอบการทำมะขามจี๊ดจ๊าดจำนวน 60 ราย

จังหวัดเพชรบูรณ์ มีผู้ประกอบการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดทั้งหมด 19 ราย จากการลงพื้นที่สำรวจกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มแปรรูปมะขามไร่บุญคง 120/1 หมู่ 1 ต.วังชมพู อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ พบว่ามีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดส่งขาย ได้มีการรับซื้อมะขามพันธุ์เปรี้ยวยักษ์ มาจากเกษตรผู้ปลูกมะขามเปรี้ยวพันธุ์ยักษ์ในจังหวัดเพชรบูรณ์ ในกิโลกรัมละ 60 บาท ซึ่งผ่านการปอกเปลือกแกะรกและเมล็ดออกแล้ว การผลิตจะจ้างแรงงานในการคลุกมะขามด้วย น้ำตาล พริก และเกลือ แล้วจึงนำไปหั่นให้ได้ขนาดชิ้นประมาณ 2-5 เซนติเมตร แล้วจึงทำการแพ็คใส่ถุงหรือกระปุก จะผลิตครั้งละ 40-50 กิโลกรัม/อาทิตย์ แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ในปัจจุบันมีธุรกิจในระดับชุมชนนิยมแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์เป็นมะขามจี๊ดจ๊าดเป็นจำนวนมาก เพราะสามารถนำมะขามที่ตกเกรดและไม่สามารถนำไปแช่อิ่มได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด สามารถสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนเป็นจำนวนมาก ปัญหาสำคัญของการทำมะขามจี๊ดจ๊าดคือขั้นตอนการคลุกและหั่นให้ได้ชิ้นขนาดไม่เกิน 5 เซนติเมตร (เพื่อที่จะใช้ซ่อมขนาดเล็กในการจิ้มเพื่อรับประทานได้) ถ้าหากมีเนื้อมะขามจำนวนมาก การคลุกมะขามให้เข้ากับเกลือ พริก และน้ำตาลสามารถทำได้ยาก อีกทั้งการหั่นชิ้นขนาดให้ได้มาตรฐานก็สามารถทำได้ยากเช่นเดียวกัน ทำให้ในการผลิตสามารถทำได้เพียง ครั้งละ 40-50 กิโลกรัม/อาทิตย์ ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการผลิตมีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าด โดย

การสร้างเครื่องจักรและกรรมวิธีการผลิตที่จะสามารถลดเวลา ลดขั้นตอน และลดจำนวนแรงงาน เพิ่มมาตรฐานสะอาดในกรรมวิธีการผลิต นำไปสู่มาตรฐานของสินค้าและผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้น เพิ่มความเชื่อมันในสินค้าของธุรกิจระดับชุมชนให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งรายใหญ่ได้

1.2 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

เพื่อการพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดในธุรกิจระดับชุมชน

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.3.1 สำรวจข้อมูลและร่วมกันวิเคราห์ปัญหาจากกรรมวิธีการผลิต มะขามจี๊ดจ๊าดจากกลุ่มผู้แปรรูปมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ และกำหนดเป้าหมายในการทำงานวิจัย

1.3.2 ทำการปรับปรุงและกำหนดกระบวนการวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดเพื่อให้กรรมวิธีการผลิตมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยในขั้นตอนนี้จะมีการพิจารณาการสร้างเครื่องจักร รวมถึงการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตให้ดียิ่งขึ้น

1.3.3 ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธภาพของกรรมวิธีที่มีการปรับปรุง วิเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงกรรมวิธีให้ดียิ่งขึ้น

1.3.4 ปรับปรุงและแก้ไขความบพพร่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

1.3.5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและหาข้อควรปรับปรุง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาการทำวิจัยในอนาคต

1.3.6 ถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ที่ได้รับแก่กลุ่มวิสาหกิจฯ และผู้ที่สนใจ

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปมะขามไร่บุญคง

1.4.2 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

มะขามเปรี้ยวยักษ์

1.4.3 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ระยะที่ 1 ศึกษากระบวนและกรรมวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าด กลุ่มธุรกิจชุมชนในจังหวัดเพชรบูรณ์แบบเดิม

ระยะที่ 2 สร้างเครื่องทำมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน โดยที่เครื่องจักรสามารถการคลุกและหั่นเนื้อมะขามพันธุ์เปรี้ยวยักษ์ให้เป็นมีลักษณะเส้นเล็ก ให้มีขนาดไม่เกิน 5 เซนติเมตร ตามความต้องการของท้องตลาด

ระยะที่ 3 ทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการและกรรมวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าด ก่อนและหลังการพัฒนากรรมวิธีการผลิต

1.4.4 ขอบเขตด้านพื้นที่

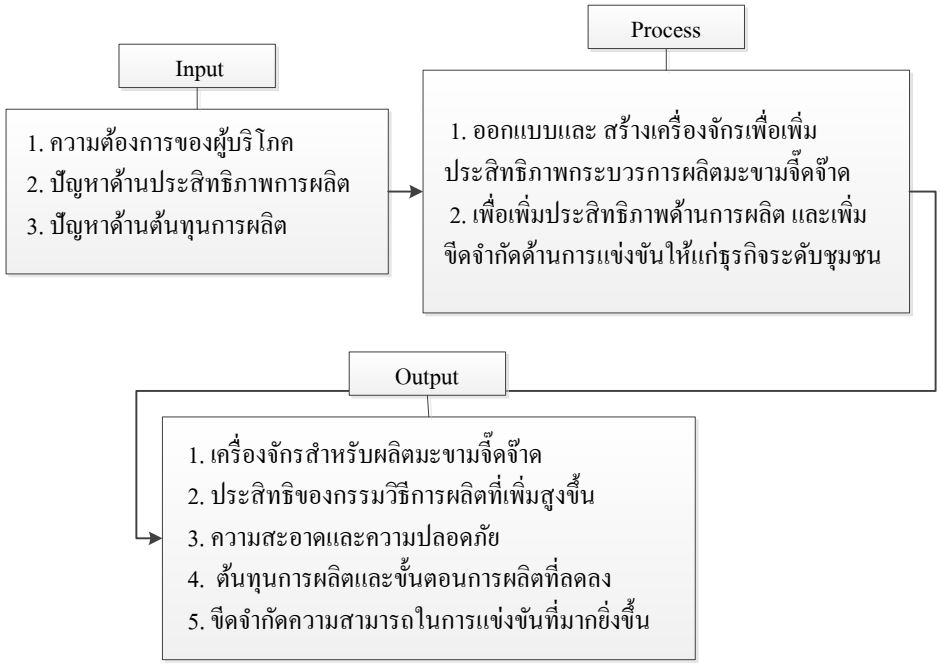
1.4.4.1 ใช้อาคารปฏิบัติการ 18/6 คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เป็นสถานที่ออกแบบและสร้างเครื่องจักร

1.4.4.2 พื้นที่ในการวิจัยเพื่อศึกษาข้อมูลประกอบการดำเนินการวิจัย วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปมะขามไร่บุญคง

1.4.5 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 12 เดือน

1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการ



1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ประโยชน์ต่อคณะผู้วิจัย

1.6.1.1 กรรมวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ้าดที่สามารถตอบสนองการบูรณาการในการจัดการเรียนการสอน

1.6.1.2 จดอนุสิทธิบัตรเป็นทรัพย์สินทางปัญญา

1.6.1.3 บทความทางวิชาการ

1.6.1.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนางานวิจัยที่จะนำไปสู่องค์ความรู้ในด้านอื่นๆ ของคณะผู้วิจัย

1.6.2 ประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัย

1.6.2.1 การทำพันธกิจการบริการวิชาการที่สร้างประโยชน์ให้แก่ชุมชน

1.6.2.2 ความร่วมมือทางวิชาการและความสัมพันธ์ที่ดีของมหาวิทยาลัย ภาครัฐ และสถานประกอบการ

1.6.2.3 ช่วยให้สถาบันการศึกษาได้รับการยอมรับจากชุมชนและตลาดแรงงาน

1.6.3 ประโยชน์ต่อสังคมและชุมชน

1.6.3.1 การรวมตัวกันของเกษตรกรในการประกอบธุรกิจในระดับชุมชน มีความมั่นคง ได้รับการรับรองตามกฎหมาย มีมาตรฐานที่ตอบสนองความต้องการแก่ผู้บริโภค

1.6.3.2 การส่งเสริมความรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่น การพัฒนาความสามารถในการจัดการตรงตามความต้องการที่แท้จริง

1.6.3.3 ระบบเศรษฐกิจชุมชนมีความเข้มแข็ง พึ่งพาตนเองได้ มีความพร้อมที่จะพัฒนาสำหรับการแข่งขันทางการค้าในอนาคต

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้คณะผู้วิจัยจะกล่าวถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับมะขาม ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าด ความรู้ด้านการออกแบบและสร้างเครื่องจักรที่นำมาใช้พัฒนากระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์ให้เป็นมะขามจี๊ดจ๊าดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะขามเปรี้ยว

ความเปรี้ยวที่เป็นจุดเด่นของมะขามถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ นานา ทั้งด้านการปรุงอาหาร เป็นยาสมุนไพร เป็นเครื่องดื่ม หรือล่าสุดได้รับความนิยมมากในวงการความงาม ด้วยเหตุนี้มะขามเปรี้ยวจึงถูกมองว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศเป็นอย่างมาก มะขามเปรี้ยว จัดเป็นไม้พื้นถิ่นที่เกิดและเติบโตได้ในทุกสถานที่ เจริญเติบโตได้เกือบทุกสภาพดิน เป็นไม้ผลที่ขึ้นง่ายไม่ต้องดูแลมาก มีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ เนื้อไม้แข็งแรงจนมีการนำมาใช้ทำเป็นเขียง ฉะนั้น ไม่ว่าภูมิภาคใดของประเทศก็สามารถปลูกมะขามเปรี้ยวได้ จึงทำให้ชาวบ้านหันมาปลูกมะขามเปรี้ยวกันเพิ่มขึ้น ส่วนพันธุ์มะขามเปรี้ยวเดิมๆ ที่คุ้นเคยกัน มี 2 ชนิด ได้แก่ มะขามขี้แมว ที่มีเปลือกค่อนข้างหนา เมล็ดมีขนาดใหญ่ ทรงกลม เนื้อผลมีน้อย มีปริมาณเนื้อประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ จากทั้งฝัก ซึ่งพันธุ์นี้พบมากในภาคอีสาน กับอีกชนิด มะขามกระดาน เป็นพันธุ์ที่พบมากในภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออก มีปริมาณเนื้อประมาณ 40-45 เปอร์เซ็นต์ จากฝักทั้งหมด

รูปที่ 2-1 ต้นมะขามเปรี้ยวยักษ์

ที่มา : เว็บไซต์เทคโนโลยีชาวบ้าน เทคโนเกษตร

ในปัจจุบันมะขามเปรี้ยวพันธุ์นี้จึงได้รับความนิยมปลูกกันมาก โดยพันธุ์ที่ได้รับความสนใจแล้วกำลังมาแรง คือ มะขามเปรี้ยวยักษ์ เนื่องจากโดยธรรมชาติของมะขามเปรี้ยวจะเจริญเติบโตเองได้ยกเว้นถ้าต้องการผลิตเป็นการค้าอย่างจริงจังอาจจะต้องใช้ปุ๋ย ฮอร์โมน ร่วมด้วย เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและมีความสมบูรณ์ แต่แนวทางนี้คุณสกลชี้ว่าสำหรับสวนเขาไม่จำเป็น เพราะไม่ต้องการให้ต้นโทรมเร็ว ดังนั้น จึงไม่ต้องเร่ง จะปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติ เพราะถึงอย่างไรก็ตาม ที่สวนมีการใส่ปุ๋ยเป็นประจำเสมอตลอดทั้งปี จึงทำให้มีการสะสมอาหารไว้ใช้ได้ตลอดเวลา การปลูกต้นพันธุ์ลงหลุมควรให้ใช้ความลึกเพียง 20 เซนติเมตร ก็พอแล้ว เมื่อต้นโตควรตัดแต่งกิ่งเป็นระยะ หากอายุต้นสัก 1 ปี เริ่มตัดกิ่งที่ต่ำสุดกับกิ่งที่ไขว้พันกันออกไปก่อน พอครบ 2 ปี ก็ให้เลือกตัดเฉพาะกิ่งที่ต่ำกว่าเอวออก ให้เหลือไว้เป็นกิ่งโครงหรือกระโดง พออายุ 3 ปี ให้ตัดกิ่งที่อยู่ระดับเดียวกับหน้าอก พอเข้าปีที่ 5 ให้ตัดกิ่งที่อยู่ในระดับหลังวัวออก ฉะนั้น ถ้าตัดแต่งกิ่งตามที่แนะนำเช่นนี้มะขามเปรี้ยวยักษ์จะมีผลผลิตสมบูรณ์ทั้งขนาด เนื้อ รสชาติ และน้ำหนัก อายุต้นมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่สามารถให้ผลผลิตได้มีด้วยกันหลายรุ่น ตั้งแต่อายุมากที่สุด คือ 30 ปี, 20 ปี, 18 ปี, 15 ปี หรือแม้แต่ต้นอายุ 3 ปี ทั้งนี้ในแต่ละรุ่นมีศักยภาพในการให้ผลผลิตต่างกันทั้งจำนวนและความสมบูรณ์ โดยต้นที่มีอายุมากมักจะให้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพและมีจำนวนมากกว่าต้นที่มีอายุน้อย

รูปที่ 2-2 ฝักมะขามเปรี้ยวยักษ์

ที่มา : เว็บไซต์เทคโนโลยีชาวบ้าน เทคโนเกษตร

รูปที่ 2-3 ขนาดฝักมะขามเปรี้ยวยักษ์

ที่มา : เว็บไซต์เทคโนโลยีชาวบ้าน เทคโนเกษตร

แมลงศัตรูที่มารบกวนต้นมะขามเปรี้ยวยักษ์ ได้แก่ แมลงอีนูน ที่ชอบกินยอดและใบอ่อน และเป็นศัตรูสำคัญของมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่พบในเขตภาคกลาง แต่สำหรับในพื้นที่อื่นจากคำบอกเล่าของกลุ่มสมาชิกระบุว่ามีแมลงศัตรูที่ไม่เหมือนกันในแต่ละภูมิภาค แต่ทุกพื้นที่ทั่วประเทศจะใช้วิธีป้องกันเหมือนกันคือ การใช้สารสกัดจากธรรมชาติฉีดพ่นโดยไม่มีการใช้สารเคมี สำหรับการวางแผนขยายพันธุ์เพื่อจำหน่ายในแต่ละปี จะกำหนดว่าภายในปีนั้นจะต้องทำยอดขายเท่าไร กิ่งพันธุ์ที่ผลิตรวมถึงการแปรรูปจะต้องพิจารณาความต้องการของตลาดในแต่ละช่วงเวลาว่ามีความต้องการมาก/น้อยเพียงใด เพื่อเป็นการป้องกันความเสี่ยง “โดยเฉพาะช่วงที่ลูกค้าต้องการต้นพันธุ์คือ ราวเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม จะเพิ่มจำนวนไว้ให้มากกว่าปกติเพื่อเตรียมรองรับกับความต้องการในช่วงหน้าฝน โดยจะเริ่มเตรียมทำกิ่งพันธุ์ไว้ตั้งแต่เดือนมีนาคม-เมษายน โดยกำหนดราคาขายกิ่งพันธุ์ไว้ ราคา 80 บาท ต่อกิ่ง แต่ราคานี้ไม่คงที่แน่นอน เพราะในช่วงหน้าแล้งหรือราวเดือนพฤศจิกายน-มีนาคม จะมีการจัดโปรโมชั่นลดราคาขาย”

ผลผลิตมะขามเปรี้ยวยักษ์จะเริ่มเก็บได้ตั้งแต่เดือนกันยายนไปจนถึงเดือนมกราคมของปีถัดไป โดยจะเริ่มมีดอกประมาณเดือนพฤษภาคม แล้วมีฝักอ่อนประมาณปลายเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม ซึ่งจะเก็บบางส่วนขายให้กับกลุ่มที่นำไปทำน้ำพริก จากนั้นจะพักต้นชั่วคราวโดยไม่ยุ่งอะไร เพื่อรอให้ฝักที่เหลือเปลี่ยนไปเป็นฝักหนุ่ม-สาว ที่แก่แต่ยังไม่แห้ง แล้วเก็บไปทำเป็นมะขามแช่อิ่ม จนเมื่อเข้าเดือนพฤศจิกายนฝักอีกรุ่นจะแห้งสนิทแก่จัด แล้วจะเก็บรุ่นนี้มาขายเพื่อทำเป็นมะขามเปียกหรือมะขามแกง โดยจะเริ่มเก็บประมาณเดือนมกราคม-มีนาคม ผลผลิตที่ได้ เฉลี่ยต้นละประมาณ 1.8-2 ตัน ซึ่งเป็นต้นที่มีอายุกว่า 30 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ยฝักละ 3 ขีดกว่า มีความยาวต่อฝัก ประมาณ 13 นิ้ว ซึ่งถ้าเป็นมะขามบ้าน

ทั่วไปมีขนาดประมาณนิ้วชี้เท่านั้น แต่ถ้าแยกเป็นกลุ่มที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างมะขามหนุ่ม-สาว จะได้จำนวนตันกว่า แต่ถ้าฝักแห้งแก่จะได้จำนวนประมาณ 400-600 กิโลกรัม โดยมะขามจะเก็บเพื่อแช่อิ่มจำนวน 60 เปอร์เซ็นต์ ของมะขามทั้งหมด

2.2 การแปรรูปมะขามเปรี้ยว

การแปรรูป เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่ม และสร้างความแปลกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น แก้ปัญหาผลผลิตล้นตลาดและราคาตกต่ำได้ มะขามนับเป็นผลไม้ที่มีการแปรรูปได้หลากหลายกว่าไม้ผลชนิดอื่นๆ จากรสชาติที่มีความเปรี้ยวอยู่แล้ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสเข้มข้นเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค มะขามสามารถแปรรูปได้ทั้งมะขามอ่อน มะขามดิบ มะขามสุก ทั้งมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว ทำเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค เป็นเครื่องสำอางและเป็นสมุนไพร มะขามถือได้ว่าเป็นไม้ผลเพื่ออนาคตซึ่งอาจจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แปลกใหม่ได้อีกมาก

ปัจจุบันมะขามหวานที่เกษตรกรปลูกประสบปัญหาทำให้ปริมาณและคุณภาพต่ำมะขามหวานมีรสชาติอมเปรี้ยว ฝักเล็ก เนื้อแห้ง มีปัญหาการเกิดเชื้อราและแมลงทำลาย หรือมะขามที่ออกนอกฤดูกาลเป็นมะขามที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์จะสุกในฤดูฝนถัดไป ทำให้เกิดเชื้อราทั้งหมด และเกิดผลเสียตามมาคือทำให้มะขามในฤดูกาลออกน้อย เพราะมีมะขามนอกฤดูกาลติดอยู่บนต้น ต้องตัดทิ้งตอนตัดแต่งกิ่ง ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น หากนำมาแปรรูปก็จะสามารถนำสิ่งที่ไม่เป็นประโยชน์มาเพิ่มมูลค่ามะขามเปรี้ยวสามารถนำผลผลิตมาใช้ในการประกอบอาหารเป็นหลัก ทั้งในส่วนของใบอ่อน ผลดิบ และผลสุก นิยมนำมาประกอบอาหารเป็นหลักทำให้อาหารมีรสเปรี้ยวเป็นธรรมชาติซึ่งปัจจุบัน มีการเก็บผลสุกนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด และมีการส่งเสริมตั้งแต่ระดับครัวเรือนกลุ่มเกษตรกรไปจนถึงในรูปของบริษัท มะขามเปรี้ยวยักษ์สามารถแปรรูปได้หลากหลายชนิด เช่น มะขามเปียก มะขามแช่อิ่ม มะขามคลุกบ๊วย

2.2.1 มะขามเปียก

ใช้มะขามเปรี้ยวผลสุกทำเป็นมะขามเปียก ส่งขาย มะขามเปียกเป็นผลิตภัณฑ์จากมะขาวเปรี้ยวที่ทำได้ง่าย และไม่มีขั้นตอนอะไรยุ่งยากเพียงแค่การเก็บผลสุกของมะขามมาทำการแกะเปลือกและเมล็ดออก พร้อมเพ็คใส่ถุงจำหน่าย สำหรับมะขามเปียกถือเป็นผลิตภัณฑ์ของมะขามขั้นต้นที่เป็นวัตถุดิบหลักในการ ทำผลิตภัณฑ์จากมะขามเปียกหลากหลายชนิด โดยสมัยก่อนเมื่อคนโบราณเก็บฝักมะขามเปรี้ยวสุกมา จะนำมาแกะเอาแต่เนื้อด้านในปั้นเป็นก้อน แล้วนำไปรมควันบนเตาไฟเพื่อป้องกัน

มอดกินเม็ดมะขาม ทำให้มะขามเก็บได้นาน ปัจจุบันใช้วิธีแกะเอาแต่เนื้อแล้วเก็บเข้าตู้เย็น ช่วยให้เก็บมะขามเปียกได้นานขึ้น โดย มะขามเปียกยังคงสีสวย หากเก็บนอกตู้เย็น มะขามเปียกจะคล้ำง่าย

การคั้น น้ำมะขามเปียก ให้เก็บได้นาน ทำได้โดยใส่น้ำร้อน 1 ส่วน ลงในมะขามเปียก 1 ส่วน แช่พักไว้ให้มะขามอ่อนตัวและน้ำเย็นลงจึงใช้มือขยำมะขามเปียกจนข้นดี นำไปกรองผ่านกระชอนเพื่อกรองเปลือกมะขามออก นำไปใช้ได้ หากนำน้ำมะขามเปียกที่ได้ไปเคี่ยวพอเดือดแล้วพักให้เย็นก่อนเก็บเข้าตู้เย็น จะช่วยให้เก็บน้ำมะขามเปียกได้นานขึ้น

รูปที่ 2-4 มะขามเปียกและน้ำมะขามเปียก

ที่มา : เว็บไซต์ Thanitha มะขามขัดผิว,19 มกราคม 2562

2.2.2 มะขามจี๊ดจ๊าด

มะขามจี๊ดจ๊าดเป็นมะขามแปรรูปจากมะเปรี้ยวรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีส่วนผสมของมะขามเปรี้ย น้ำตาลทราย เกลือป้น และพริกป่น เมื่อได้ชิมแล้วจะรู้สึกจี๊ดจ๊าด โดยตั้งชื่อตามรสชาติที่จี๊ดจ๊าดกับใจว่าใครชิมแล้วต้องติดใจ เป็นเมนูของกินเล่นแก้ง่วงชั้นดี มีทั้งแบบที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด โดยมีวิธีทำดังต่อไปนี้ ขั้นแรกนำมะขามที่แกะเอาเมล็ดออกแล้วมาคัดแยกสิ่งปลอมปนออกให้สะอาดแล้วใช้กรรไกรตัดมะขามให้พอคำ จากนั้นนำมาขามที่ตัดแล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำพริกป่น เกลือป่น และเกลือเม็ดที่เตรียมไว้มาผสมให้เข้ากันโดยแบ่งเกลือเม็ดไว้หนึ่งส่วน นำส่วนผสมที่เตรียมไว้มาคลุกเคล้ากับมะขามที่อบแล้วให้เข้ากันแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้กรรไกรตัดพริกแห้งให้ได้ขนาด 0.5 เซนติเมตร เมื่อเสร็จแล้วให้นำมะขามคลุกที่อบแล้วมาคลุกเคล้ากับพริกแห้งที่ตัดเตรียมไว้แล้วโรยเกลือเม็ดที่แบ่งไว้ในขณะที่ทำการบรรจุหีบห่อ

รูปที่ 2-5 มะขามจี๊ดจ๊าด

ที่มา : เว็บไซต์พันทิพดอทคอม โหวตมะขามจี๊ดจ๊าดในดวงใจ, 9 กุมภาพันธ์ 2562

2.2.3 มะขามแช่อิ่ม

มะขามแช่อิ่มที่สามารถสร้างรายได้อย่างไม่น่าเชื่อ อันดับแรกต้องนำมะขามแกะเปลือกแช่น้ำเกลือ 3 วัน จากนั้นผ่าเม็ดออก จากนั้นเป็นขั้นตอนการเตรียมน้ำปูนใส อัตราส่วน น้ำสะอาด 100 ลิตร ต่อ ปูนแดง 2 กิโลกรัม คนให้เข้ากันจากนั้นทิ้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นตักน้ำปูนใส ส่วนบนที่ไม่มีตะกอนเทราดบนมะขาม ที่แช่น้ำเกลือไว้ข้างต้นมาแช่ในน้ำปูนใสประมาณ 2 -3 ชั่วโมง จากนั้นตักมะขามขึ้นมาทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ระหว่างนี้ให้จัดเตรียมการทำน้ำเชื่อม สำหรับแช่อิ่มในอัตราส่วน น้ำตาล 1 กิโลกรัม น้ำสะอาด 1.5 กิโลกรัม เคี่ยวจนได้ที่รอให้เย็นเทน้ำเชื่อมที่ได้ให้ท่วมมะขามที่จัดเตรียมไว้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง พอครบเวลาเทน้ำเชื่อมทิ้ง ซึ่งขั้นตอนนี้เราจะทำทั้งหมด 4 ครั้ง โดยน้ำเชื่อม ครั้งแรกและครั้งที่สองที่เททิ้งนั้นเพื่อล้างน้ำปูนที่แช่มะขามไว้ หากใครต้องการมะขามแช่อิ่มที่อมเปรี้ยวอมหวานก็ให้ผ่านขั้นตอน แค่ 3 ครั้ง และหาก ต้องการมะขามแช่อิ่มที่มีรสชาติหวาน กรอบอร่อย ก็ให้ทำให้ครบ 4 ครั้ง และเพื่อให้มะขาม แช่อิ่มสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องพึ่ง สารกันบูดในทุกๆวันจะต้อง นำน้ำเชื่อมแยกออกมาจากมะขามที่ได้แช่อิ่ม ไว้นำมาอุ่นและนำมะขามกลับมา แช่ใหม่ทำอย่างนี้ ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถ เก็บรักษาได้นานกว่า 1-2 ปี ในอุณหภูมิปกติ

รูปที่ 2-6 มะขามแช่อิ่ม

ที่มา : เว็บไซต์ขายดี, 2562, 13 มีนาคม.

2.2.4 มะขามคลุกบ๊วย

เนื้อมะขามเปรี้ยวแบบไม่แกะเม็ด10 กก., ผงบ๊วย 2 กก., เกลือป่น 6 ช้อนโต๊ะ และพริกป่นอีก 2 วิธีทำ คลุกเคล้าวัตถุดิบทั้งหมด (ยกเว้นผงบ๊วย) ในภาชนะผสม ระหว่างที่คลุกเคล้ากัน ใส่ผงบ๊วยลงไปคลุกผสมด้วย เมื่อส่วนผสมเข้ากันดี บรรจุในถุง หรือภาชนะที่เตรียมไว้ ขายในราคา กก.ละ 120 บาท สำหรับมะขามคลุกบ๊วยนี้ ละมุ่ยบอกว่า ขายดีรองมาจากมะขามหวานคลุกน้ำตาล

รูปที่ 2-7 มะขามคลุกบ๊วย

ที่มา : เว็บไซต์เดลินิวการแปรรูปมะขาม , 2562, 13 มีนาคม.

2.3 การลดขนาด (Size reduction)

การลดขนาด (Size reduction) สำหรับอาหารที่มีสถานะเป็นของแข็งเป็นหน่วยปฏิบัติการหนึ่งที่ทำให้อาหารที่มีขนาดใหญ่กลายเป็นอาหารที่มีขนาดเล็กลงสำหรับของผสมของอาหารเหลวที่ปกติไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันสามารถนำขั้นตอนของการลดขนาดประยุกต์ใช้กับอาหารเหลวได้เพื่อให้อาหารเหลวรวมเป็นเนื้อเดียวกันการลดขนาดอนุภาคของอาหารเหลวจะเรียกว่าการทำโฮโมจิไนเซชั่น (Homogenization) หรือ อีมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) เช่นของผสมระหว่างน้ำมันกับน้ำโดยปกติจะแยกชั้นกันเมื่อผ่านขั้นตอนการทำโฮโมจิไนเซชั่นหยดน้ำมันจะมีขนาดเล็กๆซึ่งจะแทรกอยู่ในชั้นของน้ำหรือเรียกได้ว่าเป็นของผสมเนื้อเดียวนอกจากนี้ยังมีวิธีการลดขนาดของของเหลวให้กลายเป็นหยดเล็กๆ โดยเครื่องฉีดพ่นของเหลวให้เป็นละออง (Atomizer) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2557, 15 มกราคม.)

2.3.1 ประโยชน์ของการลดขนาดที่มีต่อกระบวนการอาหาร

2.4.1.1 การลดขนาดทำให้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอาหารเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนอัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้น

2.4.1.2 เมื่อใช้ร่วมกับขั้นตอนการคัดเลือกด้วยตะแกรง (Screening) จะได้อาหารที่มีขนาดตามความต้องการของกระบวนการผลิตอาหารนั้นๆทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพตามที่ต้องการ

2.4.1.3 นอกจากนี้ชิ้นอาหารที่มีขนาดสม่ำเสมอกันจะทำให้การผสมเป็นไปอย่างสมบูรณ์

2.4.1.4 เพื่อสกัดองค์ประกอบที่ต้องการออกจากโครงสร้างเช่นการสกัดแป้งจากเมล็ดข้าวสาลีหรือการคั้นน้ำอ้อยจากอ้อย

ขั้นตอนการลดขนาด (ไม่ว่าจะเป็นอาหารที่เป็นของแข็งหรือเป็นอาหารเหลวก็ตาม) เป็นขั้นตอนเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของการนำไปรับประทานหรือเพื่อความเหมาะสมกับกระบวนการผลิตขั้นตอนไปแต่บางครั้งอาหารที่ผ่านขั้นตอนการลดขนาดอาจเกิดการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการในอาหารซึมออกจากชิ้นอาหารและเนื่องจากอาหารมีพื้นที่ผิวมากขึ้นและสารอาหารบางอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ซึมออกมาทำให้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์เข้าไปทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนอาหารทำให้สมบัติของอาหารบางอย่างไปเปลี่ยนไปเช่นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันการเปลี่ยนสีอาหารอาหารเน่าเสียเร็วขึ้น

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกเครื่องลดขนาด

สมบัติของเครื่องลดขนาดในอุดมคติคือมีประสิทธิภาพสูงใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเดียวกันหรือมีการกระจายขนาดตามต้องการ โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เครื่องลดขนาด คือ

2.4.2.1 ความแข็งของวัตถุดิบ วัตถุดิบที่มีความแข็งมากจะใช้กำลังในการลดขนาดสูงซึ่งอาจแก้ไขได้โดยป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องอย่างช้าๆใช้เครื่องลดขนาดที่มีความจุใหญ่ขึ้นและทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรง

2.4.2.2 โครงสร้างของวัตถุดิบ การรู้โครงสร้างของวัตถุดิบทำให้ทราบถึงชนิดของแรงที่มีผลต่อการลดขนาดมากที่สุดถ้าวัตถุดิบร่วนกรอบหรือมีโครงสร้างผลึกการแตกหักเกิดได้ง่ายและขนาดใหญ่จะแตกหักได้ง่ายกว่าขนาดเล็กในกรณีนี้ควรใช้เครื่องลดขนาดที่ใช้แรงอัด (Compression)

2.4.2.3 ความชื้น ความชื้นมีทั้งผลดีและผลเสียต่อการลดขนาดวัตถุดิบที่มีความชื้นมากกว่า 2-3 เปอร์เซ็นต์ จะจับกันเป็นก้อนภายในเครื่องลดขนาดทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องและผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาด้อยกว่าความเป็นจริง แต่ถ้าวัตถุดิบมีความชื้นต่ำมากจะเกิดฝุ่นในระหว่างการลดขนาด ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบการหายใจ ดังนั้นถ้าการมีความชื้นในอาหารเป็นที่ยอมรับได้ควรใช้การพ่นน้ำเพื่อลดการเกิดฝุ่น

2.3.3 เครื่องจักรอุปกรณ์ในขั้นตอนการลดขนาด

2.4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการลดขนาดมีหลายแบบหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน

1) อุปกรณ์ตัด (Cutting Equipment) การตัดจะใช้กับวัสดุที่มีความอ่อนการตัดเป็นการใช้แรงเฉือน (Shear forces) กระทำต่อวัสดุลักษณะการตัดยังแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การแล่ (Slicing) และ การหั่น (Shredding)

2) เครื่องจักรสำหรับการตัดส่วนมากจะออกแบบมาเพื่องานเฉพาะเจาะจงจึงมีหลายแบบหลายประเภทให้เลือกใช้ซึ่งต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานตัวอย่างของเครื่องจักรสำหรับการตัดมีดังนี้

1) Slicer ใช้ตัดพวกเนื้อสัตว์แฮมไส้กรอกปลาชีสผลไม้ผักเป็นแผ่นบางๆ ความหนาประมาณ 0.7มิลลิเมตร 7 มิลลิเมตร ส่วนประกอบพื้นฐานของ Slicers ได้แก่ใบมีดอาจจะเป็นรูปจานที่หมุนได้หรืออื่นๆอาจจะเป็นใบมีดชิ้นเดียวหรือหลายชิ้นประกอบกันที่สำคัญใบมีดต้องปรับองศาการตัดให้ได้ชิ้นอาหารที่มีความหนาตามต้องการได้ใบมีดอาจจะเคลื่อนที่เข้าหาอาหารที่จะตัด

หรือให้อาหารเคลื่อนที่เข้าหาใบมีดการป้อนอาหารเข้าสู่เครื่องจักรจะเป็นแบบอัตโนมัติเข้าสู่ส่วนป้อน แล้วจะเข้าสู่ส่วนการ slice ความหนาของชิ้นอาหารจะถูกควบคุมด้วยเซ็นเซอร์เช่น Photocells ทำให้ได้ความหนาที่ต้องการอย่างสม่ำเสมอปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการ Slice ได้แก่ความเร็วของการ Slice ความเหนียวของอาหารอุณหภูมิของอาหารและคุณภาพของใบมีด

2) Dicers ใช้ตัดผักผลไม้เนื้อโดยครั้งแรกอาหารจะถูก Slice แล้วถูกตัดให้เป็นท่อนด้วยใบมีดที่หมุนจากนั้นท่อนอาหารที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่ชุดใบมีดที่หมุนชุดที่สองซึ่งจะตัดขวางจะได้ชิ้นอาหารเป็นรูปทรงลูกเต๋า

รูปที่ 2-8 Dicers

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2556, 13 มีนาคม.

2.4 ส่วนประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

2.4.1 เพลา

เป็นชิ้นส่วนที่หมุนเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงขณะใช้งาน ใช้ส่งถ่ายโมเมนต์แรงบิดและถ่ายทอดแรงหมุนของชิ้นส่วนทางกลที่ติดตั้งอยู่กับเพลา เช่น พูลเล่ย์ ล้อเฟือง คลัปปลิ้ง เฟืองโซ่ หรือลูกเบี้ยว เป็นต้น ภาระที่กระทำกับเพลาจึงเกิดขึ้นทั้งการหมุนบิด และการโค้งงอ

2.5.1.1 ลักษณะของเพลาโดยทั่วไปมีอยู่ 3 ประเภทประกอบด้วย

1) เพลาส่งกำลัง (TRANSMISSION SHAFTS) เพลาชนิดนี้ใช้เฉพาะการบิดหรืออาจรับทั้งการบิดและการดัดผสมกันก็ได้ การส่งกำลังจะถ่ายทอดผ่านเพลาโดยอาศัยแผ่นประกบต่อเพลา(COULPING)ผ่านเฟื่อง ผ่านพูลเล่ย์ ผ่านสายพาน จานโซ่ หรือโซ่ เป็นต้น

2) เพลารองรับภาระ เป็นเพลาชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเช่นกัน ขณะใช้งานเพลาชนิดนี้อาจหมุนหรือไม่ก็ได้ แต่ที่สำคัญเพลาชนิดนี้ไม่ได้ส่งกำลังจะทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนอื่น

ให้หมุน เช่น เพลาลูกกรอกสายพาน เพลาลูกล้อสลิงต่างๆซึ่งเป็นเพลาที่รับภาระน้ำหนักของอุปกรณ์อื่นที่กดทับทำให้สภาพการเสียหายของเพลาเกิดการดัดงอเป็นส่วนใหญ่ เช่น เพลา ล้อรถไฟ เป็นต้น

3) เพลาขับเคลื่อน เพลาขับเคลื่อนมีหน้าที่รับและส่งต่อพลังงาน จากเกียร์ไปสู่ล้อในลักษณะการหมุน ฉะนั้นเพลาขับเคลื่อนจึงต้องทำงานหนักมากที่สุดตัวหนึ่ง จึงเกิดการสึกหรอได้ง่ายมากหากขาดซึ่งการดูแลเอาใจใส่อย่างถูกวิธี ดังที่กล่าวมาแล้ว หากได้รับการดูแลอย่างดีแล้ว เพลาขับอาจมีอายุการใช้งานถึง 300,000 กม. หรือมากกว่า

2.5.1.2 การออกแบบเพลา การคำนวณหาขนาดเพลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือ เพลาจะต้องมีความแข็งแกร่งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้าหากมุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลาอยู่ เกิดความเสียหายได้ง่ายยิ่งขึ้นการออกแบบการคำนวณเพลา ในการออกแบบหาขนาดของเพลา จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้

4) วัสดุที่ใช้ทำเพลา ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพลา ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการใช้งานและภาระที่เพลาต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว เราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพลาตามขนาดระบุเพลา โดยปกติเพลาจะทำจากวัสดุต่างๆ ดังนี้

- เหล็กเหนียว หรือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ได้แก่ st37 st42 st44 st50 และst60 หากรับภาระไม่มากนักหรือภาระปกติทั่วไป เช่น เพลาของระบบสายพานลำเลียง อุปกรณ์ต้นกำลังขับที่มีขนาดขับไม่มากนัก

- เหล็กกล้าผสมต่ำความต้านแรงสูง (High Strength Lowalloy Steel) ได้แก่ 25crMO4 28Mn6 ตัวอย่างเช่น เพลาของรถยนต์ แกนเพลามอเตอร์ เพลาเครื่องมือกล หรือเพลาของเทอร์ไบน์

- เหล็กกล้าชุบผิวแข็ง (Case Hardening Steel) ได้แก่เกรด C15 ck15 17cr Ni MO6 16Mn cr5 เป็นต้น วัสดุกลุ่มนี้เพลาจะมีผิวแข็งทนการสึกหรอได้ดี ส่วนแกนกลางจะเหนียว ทำให้ทนทานต่อการกระตุกเป็นพิเศษอายุการใช้งานยาวนาน (ปรีชา ทิมทอง, 2543)

5) กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพลาส่งกำลัง

6) ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา รวมทั้งรูปร่างขนาด วัสดุ และผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิด ความเค้นตกค้าง (Stress Concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลา

7) ความแกร่ง (Stiffness หรือ Rigidit) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของ เพลา เมื่อรับภาระ

8) ความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพลาอันเป็นผลเนื่อง มาจากการแอ่น ตัวของเพลา

9) การคำนวณเพลา เนื่องจากเพลาเป็นชิ้นส่วนทางกลที่ใช้ส่งถ่ายโมเมนต์แรงบิด (Torque) เป็นหลัก ซึ่งทอร์คหรือโมเมนต์แรงบิดดังกล่าว จะทำให้เกิดภาระความเค้นลักษณะต่างๆขึ้นกับเพลา ดังนั้นจึงควรหาทอร์คก่อน ดังนี้

- การคำนวณหากำลังงานของต้นกำลัง

จากสูตร $M = 9550\frac{P}{N}$

กำหนดให้ P = กำลังงานต้นกำลังขับ หรือกำลังงานที่เพลาขับส่งได้ (kw)

M = ทอร์คหรือโมเมนต์แรงบิดที่ส่งถ่ายโดยเพลา (N.m)

N = ความเร็วรอบหมุนของเพลา (รอบ/นาที .rpm)

- คำนวณโมเมนต์แรงบิดที่ส่งถ่ายโดยเพลา

จากสูตร $M = F \times r$

กำหนดให้ F = แรงขับตามแนวเส้นรอบวง

r = ขนาดรัศมีของอุปกรณ์ส่งถ่ายกำลัง เช่น ล้อเฟือง

ดังนั้น เครื่องต้นแบบเครื่องแยกกะเทาะเปลือกมะขามหวาน จึงเลือกใช้เพลาชนิดส่งกำลัง ซึ่งมีคุณสมบัติในการส่งกำลังและรับแรงบิดได้ดี เนื่องจากเครื่องจักรต้องทำงานอยู่ตลอดเวลา จึงเหมาะกับการใช้งาน ทำมาจากสเตนเลส กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) ซึ่งมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน

2.4.2 สกรู โบลต์ และนัต

สกรู โบลต์ และนัต จะใช้ในการจับยึดชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล หรือชิ้นส่วนทั่วไปให้ยึดติดกัน สกรู โบลต์ และนัต แต่ละชนิดจะมีหน้าที่การใช้งานที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.2.1 สกรู(SCREW) คือ สลักเกลียวที่มีขนาดเล็ก บางแบบมีเกลียวตลอดทั้งตัวสกรูจะมีหัวแตกต่างกัน มีทั้งหัวกลม หัวหกเหลี่ยม หัวสี่เหลี่ยม และหัวฝั่ง บนหัวจะทำเป็นร่องผ่าเอาไว้หรือเป็นหลุมลงไปใช้สำหรับขันหรือคลายเกลียว สกรูตัวเล็กๆส่วนใหญ่จะมีปลายเรียว แบ่งออกเป็น 6 ชนิด คือ

รูปที่ 2-9 สกรูชนิดต่างๆ

ที่มา : (ปรีชา ทิมทอง, 2543)

1) สกรูหัวหกเหลี่ยม ใช้ยึดชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยที่ชิ้นส่วนที่จะไปยึดนั้นต้องมีเกลียวในที่เหมือนกันจึงสามารถยึดติดกันได้

2) สกรูหัวหกเหลี่ยมพร้อมนัต ใช้ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยที่ชิ้นส่วนทีจะไปยึดนั้นต้องเจาะรูผ่านตลอดไว้แล้วจึงสามารถใช้สกรูแบบนี้ยึดได้

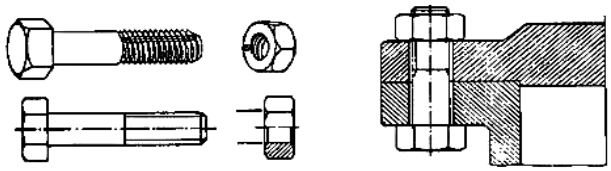
3) สกรูหัวผ่าทรงกระบอก เป็นสกรูที่ใช้ยึดชิ้นงานที่รับแรงน้อยๆเนื่องจากหัวสกรูเป็นหัวผ่าที่ใช้ไขควงสำหรับขันหรือคลายออก ชิ้นงานที่จับยึดต้องมีเกลียวในอยู่จึงสามารถจับยึดกันได้

4) สกรูหัวผ่าแบบหัวเรียวเป็นสกรูที่ใช้ยึดชิ้นงานที่รับแรงน้อยๆ เช่นกัน เนื่องจากหัวสกรูมีลักษณะเป็นหัวผ่าและใช้ไขควงสำหรับขันหรือคลายออก แต่หัวสกรูชนิดนี้จะเรียว ชิ้นงานที่จับยึดต้องมีเกลียวในอยู่จึงสามารถจับยึดกันได้

5) สกรูหัวฝังใช้หกเหลี่ยมขันใน เป็นสกรูที่ใช้จับยึดได้แน่นมากหัวของสกรูจะฝังอยู่ในเนื้อชิ้นงานเรียบ ใช้ประแจหกเหลี่ยมในการขันหรือคลายออก ชิ้นงานที่ต้องการยึดต้องมีเกลียวในอยู่แล้ว

6) สกรูหัวสี่เหลี่ยม ใช้ในการปรับหรือล็อกชิ้นส่วนบางอย่างไม่ให้เคลื่อนที่ เช่น สกรูล็อกมีดกลึง สกูรแบบนี้มีลักษณะการใช้งาน

2.5.2.2 โบลต์ (BOLT) คือ สลักเกลียวอย่างหนึ่งมีหลายรูปแบบ รูปร่างของโบลต์ด้านหนึ่งจะมีหัว ลำตัวเกลียว ส่วนใหญ่โบลต์จะใช้ควบคู่กับเกลียวตัวเมีย (NUT) เสมอ เช่น สกรูหัวหกเหลี่ยม สกรูหัวฝัง สกรูหัวสี่เหลี่ยม สกรูโลหะแผ่น และสกรูยึดไม้ เป็นต้น



รูปที่ 2-10 โบลต์หัวหกเหลี่ยมพร้อมนัต

ที่มา : (ปรีชา ทิมทอง, 2543)

รูปที่ 2-11 นัต (NUT) ชนิดต่างๆ

ที่มา : (ปรีชา ทิมทอง, 2543)

2.5.2.3 นัต (NUT) คือ เกลียวตัวเมียที่ใช้คู่กับสลักเกลียว นัตจะมีเกลียวอยู่ภายใน นัตที่ใช้ส่วนใหญ่มักจะเป็นนัตหัวกลม นัตหัวเหลี่ยม นัตหัวสี่เหลี่ยม และนัตบางจะมีปีกเพื่อใช้สำหรับขันหรือคลายนัตออก มีหลายชนิด เช่น นัตหัวหกเหลี่ยม นัตหัวสี่เหลี่ยม นัตหัวกลมเจาะรูข้าง นัตหัวกลมร่องผ่าข้าง นัตหางปลา นัตหัวกลมพิมพ์ลาย นัตครอบ นัตหัวกลมพิมพ์ลาย นัตครอบ นัตหัวผ่า

2.4.3 สเตนเลส หรือ เหล็กกล้าไร้สนิม

เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ(น้อยกว่า 2%)ของน้ำหนัก มีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อย 10.5 % กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ.1903 เมื่อนักวิทยาศาสตร์พบว่า การเติมนิเกิล โมบิดินัม ไททาเนียม ไนโอเนียม หรือโลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิด ของคุณสมบัติเชิงกล และการใช้ลงใน

2.5.3.1 เหล็กกล้าธรรมดา ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้ แบ่งได้ 5 ชนิดหลัก

1) เกรดออสเตนิติก (Austenitic) มีโครงสร้างเนื้อโลหะเป็นออสเทนไนต์ (austenite) อะตอมของผลึกจัดเรียงตัวแบบ FCC (face-centered cubic) ธาตุสำคัญที่ทำให้สเตนเลสกลุ่มนี้มีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์คือ ธาตุนิกเกิล และ ธาตุแมงกานิส คุณสมบัติสำคัญของสเตนเลสกลุ่มออสเตนนิติก คือ คุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (non – magnetic) หรืออาจดูดติดแบบอ่อนๆ หาก สเตนเลสออสเตนนิติกผ่านการขึ้นรูปเย็น (cold work) ชุบแข็งไม่ได้มีส่วนผสมหลักที่สำคัญได้แก่โครเมียมไม่ต่ำกว่า 16% คาร์บอนไม่เกิน 0.15% และส่วนผสมของธาตุนิกเกิล หรือแมงกานิส อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างรวมกัน สเตนเลสออสเตนนิติกเป็นประเภทที่ใช้งานแพร่หลาย มากที่สุดถึงกว่า 70%

2) เกรดเฟอร์ริติก (Ferritic) มีโครงสร้างเนื้อโลหะเป็นเฟอร์ไรต์ (ferrite) อะตอมของผลึกจัดเรียงตัวแบบ BCC (Body-centered cubic) เป็นโครงสร้างอะตอมพื้นฐาน ของสเตนเลสที่เหมือนกับเหล็กกล้าคาร์บอน ธาตุสำคัญที่เป็นตัวหลักของสเตนเลสกลุ่มนี้ได้แก่ โครเมียมไม่ต่ำกว่า 11 % และ คาร์บอนไม่เกิน 0.12% ใช้อนุกรม 400 เป็นตัวสื่อ คุณสมบัติที่สำคัญของสเตนเลสกลุ่มนี้คือ แม่เหล็กดูดติด (magnetic) แปรรูปได้ง่าย นำความร้อนได้ดีเยี่ยม ราคาต่ำและมีความเสถียร คุณสมบัติที่สำคัญของสเตนเลสกลุ่มนี้คือ แม่เหล็กดูดติด (magnetic) แปรรูปได้ง่าย นำความร้อนได้ดีเยี่ยม ราคาต่ำและเสถียร

3) เกรดมาร์เทนซิติก (Martensitic) มีโครงสร้างเริ่มต้น เช่นเดียวกับกลุ่มเฟอร์ริติก อะตอมของผลึกจัดเรียงตัวแบบ BCC (Body-centered cubic) แต่เมื่อผ่านการชุบแข็งแล้วจะได้โครงสร้างเป็นมาเทนไซต์ ใช้อนุกรม 400 เป็นตัวสื่อ เช่นเดียวกับกลุ่มเฟอร์ริติก มีส่วนผสมใกล้เคียงกับเฟอร์ริติก มีธาตุโครเมียมราว 11.5-18% คาร์บอนอยู่ราว 0.08%-0.75% ที่สำคัญคือไม่มีนิกเกิลหรือหากมีก็ไม่เกิน 0.6%คุณสมบัติที่สำคัญของสเตนเลสตระกูลนี้คือ แม่เหล็กดูดติด (Magnetic) สามารถปรับความแข็งได้โดยการชุบแข็ง (การให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว: Quenching) ที่อุณหภูมิ 400-510 °C และอบคืนตัว (Tempering) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 °Cสามารถลดความแข็งได้คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน ทำให้สเตนเลสกลุ่มนี้ มีคุณสมบัติต้านทานการสึกกร่อน และแข็งแรงทนทานได้ดียิ่งกว่า สเตนเลสกลุ่มออสเทนนิติกและเฟอร์ริติก มักนำไปใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัดอุตสาหกรรมเครื่องบิน พัดลมกังหัน เป็นต้น

4) กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation hardening) มีโครงสร้างเริ่มต้นเป็นออสเตนนิติก เมื่อผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 1030 °C แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจะ

เปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นมาแทนไซต์ จากนั้น นำไปตกผลึกแข็งที่อุณหภูมิช่วง 500-600 °C แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศอีกครั้ง จะทำให้ได้โครงสร้างมาแทนไซด์สมบูรณ์แบบ จะมีเม็ดเกรนละเอียดกว่าเดิม มีความเหนียวสูง สเตนเลสกลุ่มนี้มีส่วนผสมของโครเมียม 15-18% และนิกเกิล 3.00-7.75% เมื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยกลไกเพิ่มความแข็ง จากการตกผลึก (Precipitation hardening mechanism) จะสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) อยู่ระหว่าง 1,000 – 1,500 เมกาปาสคาล (MPa) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธี การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat treatment) ด้วย คุณสมบัติที่โดดเด่นของสเตนเลสกลุ่มนี้ จึงมักนำไปใช้ทำชิ้นส่วนพวก วาล์ว ข้อต่อ เฟือง เพลา ชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมเคมี และชิ้นส่วนในเครื่องบิน ตัวอย่างของชนิดสเตนเลสในกลุ่มนี้ได้แก่ 630 631 และ 17-4 PH

5) กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอร์ริติก และออสเตนนิติก ในสัดส่วนประมาณ 30% และ 70% ตามลำดับ จุดเด่นของสเตนเลสกลุ่มนี้คือ มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้เยี่ยมยอด ด้วยความแข็งแรงทนทานที่เยี่ยมยอดกว่ากลุ่มออสเตนนิติก และง่ายต่อการขึ้นรูปอีกด้วย คุณสมบัติทางกายภาพอยู่ระหว่างสเตนเลสกลุ่มออสเตนนิติกและเฟอร์ริติก แต่ใกล้เคียงกับเฟอร์ติติก และเหล็กคาร์บอนมากกว่า คุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting) และแบบซอกอับ (Crevice) เป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่าง โครเมียม โมลิบดีนัม ทังสเตน และไนโตรเจน ที่เป็นส่วนผสมของสเตนเลสกลุ่มนี้ คุณสมบัติของสเตนเลสกลุ่มดูเพล็กซ์ทุกชนิด มีคุณสมบัติทนต่อการเกิดการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนจากคลอไรด์ (chloride stress corrosion cracking) ได้ดียิ่งกว่าสเตนเลสออสเทนไนติกกลุ่ม 300 ด้วย

2.5.3.2 ประเภทของสเตนเลสที่แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

1) สเตนเลสเบอร์ 304 เป็นสเตนเลสเกรดออสเตนิติก (AUSTENITIC) ที่พบเห็น และใช้แพร่หลายที่สุด มีส่วนผสมของโครเมียม (CHROMIUM) ประมาณ 18% และนิคเกิล (NICKEL) ประมาณ 8% ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม อุปกรณ์ในกระบวนการทางเคมี อุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เครื่องใช้ในบ้าน เครื่องล้างจาน อ่างล้างจาน ภาชนะหุงต้ม เครื่องมือในโรงพยาบาลและเวชภัณฑ์ ตู้รถไฟ ตู้คอนเทนเนอร์ ฯลฯ

6) สเตนเลสเบอร์ 304D เป็นสเตนเลสเกรดออสเตนิติก (AUSTENITIC) ที่มีโครเมียม (CHROMIUM) ผสมอยู่ 18% และมีนิคเกิล (NICKEL) ผสมอยู่ 8.5% จะมีความสามารถขึ้นรูปเย็นได้ดีกว่าชนิด 304 เหมาะสำหรับการผลิตวัตถุที่มีการขึ้นรูปแบบหลุมลึก และการดึงขึ้นรูปสำหรับรูปทรงที่ซับซ้อน เช่น ภาชนะที่เป็นหลุมลึก เครื่องล้างจาน ภาชนะหุงต้ม อ่างล้างจาน เป็นต้น

7) สเตนเลสเบอร์ 304DDQ เป็นสเตนเลสเกรดออสเตนิติก (AUSTENITIC) ที่มีโครเมียม (CHROMIUM) ผสมอยู่ 18% และมีนิคเกิล (NICKEL) ผสมอยู่ 9% จะมีความสามารถขึ้นรูปเย็นได้ดี เมื่อแผ่นสเตนเลสต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปมาก จึงเหมาะกับงานพิเศษ เช่น การขึ้นรูปแบบหลุมลึก การดึงขึ้นรูปที่มีรูปทรงที่ซับซ้อน การขึ้นรูปที่ใช้ทั้งการดึงและการยืดตัว เป็นต้น

8) สเตนเลสเบอร์ 316 เป็นสเตนเลสเกรดออสเตนิติก (AUSTENNITIC) ที่มีส่วนผสมของโครเมียม (CHROMIUM) 16% ถึง 18% และนิคเกิล (NICKEL) 11% ถึง 14% และยังมีโมลิบดินัม (MOLYBDENUM) ผสมอยู่อย่างน้อยที่สุด 2% ซึ่งจะทนการกัดกร่อนที่เป็นหลุม (PITTING RESISTANCE) ได้ดี สเตนเลสชนิด 316 ใช้ในกระบวนการทางเคมี ปั๊ม แท้งค์ อุตสาหกรรมกระดาษ กระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม การก่อสร้าง ฯลฯ

9) สเตนเลสเบอร์ 430 เป็นสแตนเลสเกรดเฟอร์ริติก (FERRITIC) มีความต้านทานการกัดกร่อนน้อยกว่าชนิด 304 มีส่วนผสมของโครเมียม (CHROMIUM) 17% ใช้ทำเครื่องใช้ในครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร อุปกรณ์หุงต้ม เฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายในอาคาร

2.4.4 เหล็กรูปพรรณ

เหล็กคือส่วนประกอบของโครงสร้างที่สำคัญ ถือว่าอยู่ในลำดับต้นๆก็ว่าได้ ลักษณะและรูปร่างของเหล็กเป็นแบบไหน ในปัจจุบันเราคงจะพบเห็นกันได้ไม่ยาก เหล็กเป็นวัสดุโครงสร้างที่ดีมีกำลังความแข็งแรงเหมาะกับการนำมาใช้กับโครงสร้างเพราะมีน้ำหนักเบา ทำงานได้รวดเร็ว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่ใช้กันมากที่สุดก็คือ โครงสร้างหลังคาซึ่งชนิดของเหล็กที่นำมาใช้คือเป็นเหล็กพับตัวซี หรือเหล็กกล่อง จริงๆแล้วรูปร่างของเหล็กโครงสร้างมีหลายแบบหลายชนิดสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมและสวยงาม เหล็กที่เรานำมาใช้สำหรับงานอาคารมีอยู่หลายชนิด แต่ที่เราได้เห็นบ่อยๆมีดังนี้

2.5.4.1 เหล็กพับตัวซี (Clight lip channel) โดยทั่วไปจะนำมาใช้เป็นแปหลังคารับแผ่นกระเบื้อง ซึ่งขนาดที่นิยมนำมาใช้คือ 3 นิ้ว 4นิ้ว และ 5 นิ้ว เหล็กพับตัวซี มีข้อดีคือ เป็นเหล็กบางพับรีดเย็น (ใช้เหล็กแผ่นมาพับโดยไม่ใช้ความร้อน) ทำให้น้ำหนักเบา ราคาไม่แพง เหมาะสำหรับการรับน้ำหนักของวัสดุ หรืออุปกรณ์ที่มีน้ำหนักไม่มาก หรือในบางครั้งอาจจะนำเหล็กพับตัวซีมาเป็นองค์ประกอบย่อยของโครงสร้างก็ได้ เหล็กพับตัวซีขนาด C 100 x 50 x 20 x 2.3 หมายถึง เหล็กตัวซีพับลึก 100 มม. กว้าง 50 มม. และมีปากกว้าง 20 มม. หนา 2.3 มม การใช้งานส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นแปหลังคา หรืออาจใช้เป็นจันทันได้ด้วย สำหรับโครงหลังคาที่ระยะห่างของเสาไม่มาก ใช้เป็นตงรับพื้นไม้กระดาน เป็นต้น แต่ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเหล็กบาง รอยเชื่อมจึงเป็นจุดอ่อนที่ไม่สามารถทำรอยเชื่อม

ของเหล็กให้มีความแข็งแรง พอที่จะเป็นโครงสร้างหลักได้ เหล็กชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ ทำเป็นคานรับพื้นคอนกรีตได้ แต่อาจจะใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักเบาๆ และมีระยะห่างของจุดรองรับไม่มากเท่านั้น

2.5.4.2 เหล็กกล่อง (Rectangular) เป็นเหล็กบางพับเหมือนเหล็กตัวซี แต่หน้าตัดจะเป็นกล่องปิด มีขนาดกว้างลึกต่างกันตั้งแต่หนึ่งนิ้วไปจนถึงห้าหรือหกนิ้ว คล้ายขนาดของเหล็กตัวซีมักใช้ทำโครงสร้างหลังคาเช่นเดียวกับเหล็กตัวซี เหล็กกล่องที่มีขนาดเท่ากับเหล็กตัวซีจะแข็งแรงกว่าเหล็กตัวซี เนื่องจากมีเนื้อเหล็กมากกว่าและรูปร่างหน้าตัดที่ยึด

2.5.4.3 เหล็กไวด์แฟรงค์ (Wide Flange, WF) หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า ตัวไอหรือตัวเสช เหล็ก WF นี้มีความหนามากกว่าเหล็กพับรีดเย็น เป็นเหล็กรูปพรรณรีดร้อน (ขึ้นรูปด้วยความร้อน) เหมาะสำหรับทำโครงสร้างหลัก รับน้ำหนักได้มาก ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัด WF มีความหนาของเนื้อเหล็กมากพอที่จะเชื่อมกันได้อย่างแข็งแรง จึงสามารถใช้ทำโครงสร้างหลัก เช่น เสา คานของอาคารโครงสร้างเหล็ก จันทัน อกไก่ และ อะเสหลังคา เป็นต้น

2.5.4.4 เหล็กเส้นกลมหรือเหล็กข้ออ้อย เหล็กข้ออ้อยมีกำลังความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกลม และสามารถยึดกับเนื้อคอนกรีตดีกว่าเหล็กกลม เหมาะสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป เช่นฐานราก เสา หรือพื้น เป็นต้น

2.4.5 มอเตอร์ (Motor)

เป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงาน ไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใย โพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือ ใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าเป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่างๆ

รูปที่ 2-12 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ที่มา : เว็บไซต์ http://www.lu-yang.com.tw/TAI/dc.html

1) ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) และส่วนที่ 2 ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่า “โรเตอร์” ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ ในตลับลูกปืน(Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์

2) ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ การควบคุมแรงบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมาก มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง (response) ได้รวดเร็ว และ การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง ส่วนข้อเสีย คือ การบำรุงรักษาสูงมากเนื่องจากมีส่วนสึกหรอของแปรงถ่าน ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ AC motor ที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน มีขนาดใหญ่กว่า AC motor ที่ขนาดแรงม้าเท่ากัน หาแหล่งจ่ายที่เป็นไฟกระแสตรงได้ยาก และ ไม่สามารถนำไปใช้ในที่มีสารไวไฟได้

2.5.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า คือขดลวดในสเตเตอร์ และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือ โรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้า ก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิด

พลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์อะซิงโครนัสและมอเตอร์ซิงโครนัส

รูปที่ 2-13 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา : เว็บไซต์ http://www.lu-yang.com.tw

1) ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มี 3 ส่วน ส่วนแรกคือ สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) มีลักษณะเป็นแผ่นลามิเนทประกอบเข้าด้วยกันเป็นแกนเหล็ก มีร่องเอาไว้สำหรับพันขดลวดเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กและเป็นวงจรแม่เหล็ก ส่วนที่ 2 คือ โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มีลักษณะเป็นแกนเหล็กทรงกระบอกจะหมุนอยู่ในช่องสเตเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่กำเนิดกำลังกลเพื่อส่งไปขับโหลด และส่วนที่ 3 คือฝาครอบทั้ง 2 ด้าน (End Plate) จะมีหน้าที่ยึดโรเตอร์ให้หมุนอยู่ในช่องของ สเตเตอร์อย่างสมดุล

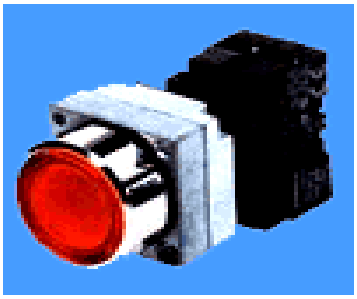
3) ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ราคาถูกกว่า DC motor ที่ขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน และมีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน และเล็กกว่า DC motor ที่พิกัดเท่ากัน การบำรุงรักษาน้อยมาก แข็งแรงทนทาน ส่วน ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟ หรือสารเคมีได้ มีประสิทธิภาพสูงกว่า DC motor และสุดท้าย หาซื้อได้ง่าย เป็นที่นิยม

4) ส่วนข้อเสียคือ การควบคุมความเร็วทำได้ยากมาก จะต้องใช้อุปกรณ์ทาง power electronics มาควบคุมคือ inverter (ธนเจต สครรัมย์, 2546)

2.4.6 สวิตช์ปุ่มกด สวิตช์ปุ่มกด

อุปกรณ์ที่มีหน้าสัมผัสอยู่ภายในการเปิดปิดหน้าสัมผัสได้โดย ใช้มือกดใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์สวิตช์ปุ่มกด ที่ใช้ในการเริ่มเดิน(Start)เรียกว่าสวิตช์ปกติเปิด (Normally Open) หรือ

ที่เรียกว่า เอ็น โอ (N.O.) สวิตช์ปุ่มกดหยุดการทำงาน(Stop) เรียกว่าสวิตช์ปกติปิด (Normally Close) หรือที่เรียกว่าเอ็น ซี (N.C.)



รูปที่ 2-14 สวิตช์ปุ่มกดที่มีหลอดสัญญาณติดอยู่ (Illuminated push button)

ที่มา : เว็บไซต์ http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara09.html

2.5.5.3 ชนิดของสวิตช์ปุ่มกด

สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดา ใช้ในงานเริ่มเดิน(Start) และหยุดหมุน(Stop) สวิตช์สีเขียวใช้ในการสตาร์ทหน้าสัมผัส เป็นชนิดปกติเปิด (Normally Open) หรือที่เรียกว่า เอ็น โอ(N.O.) สวิตช์สีแดงใช้ในการหยุดการทำงาน(Stop)หน้าสัมผัสเป็นชนิด ปกติปิด (Normally Close) หรือที่เรียกว่าเอ็น ซี (N.C.)

1) สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้ในการเริ่มเดิม(start) และหยุดหมุนนี้อยู่ในกล่องเดียวกัน ปุ่มสีเขียวสำหรับกดเริ่มเดินมอเตอร์(Start)ปุ่มสีแดง สำหรับกดหยุดหมุน(Stopเหมาะกับการใช้งานมอเตอร์ขนาดเล็กใช้งานธรรมดาที่ใช้กระแสไม่สูงสามารถต่อได้โดยตรง) ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่กว่า 1/2 แรงม้าต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นเช่นสวิตช์แม่เหล็ก(Magnetic contactor) และอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงาน เกินกำลัง(Over Load Protection) ดั้งนั้นจึงทำให้ระบบควบคุม การเริ่มเดินมอเตอร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2) สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency push button) สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉินหรือเรียกทั่วไปว่าสวิตช์ดอกเห็ดเป็นสวิตช์หัวใหญ่กว่าสวิตช์ แบบธรรมดาเป็นสวิตช์ที่เหมาะกับงานที่เกิดเหตุฉุกเฉินหรืองานที่ต้องการหยุดทันที

3) สวิตช์ปุ่มกดที่มีหลอดสัญญาณติดอยู่ (Illuminated push button) เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกดจะทำให้หลอดสัญญาณสว่างออกมา

4) สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบ (Foot push button) เป็นสวิตช์ที่ทำงานที่ใช้เท้าเหยียบ เหมาะกับเครื่องจักรที่ต้องทำงานโดย ใช้เท้าเหยียบ เช่นเครื่องตัดเหล็ก ปฏิบัติงาน

2.4.7 ตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลายชนิด ส่วนใหญ่จะประกอบอยู่ในระบบส่งกำลังแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันตามรูปร่างของลูกปืนหรือลูกกลิ้งที่อยู่ภายในโดยที่ทั่วไปลูกปืนหนึ่งตัวจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ตามชนิดของตลับลูกปืน ตลับลูกปืนที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลายชนิด ส่วนใหญ่จะประกอบอยู่ในระบบส่งกำลังแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันตามรูปร่างของลูกปืนหรือลูกกลิ้งที่อยู่ภายในโดยที่ทั่วไปลูกปืนหนึ่งตัวจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ตามชนิดของตลับลูกปืน

2.5.7.1 ชนิดของตลับลูกปืน

1) ชนิด VA201 VA208 และ VA228 เหมาะสำหรับใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 250-350 องศาเซลเซียส นอกจากนั้น ยังมีตลับลูกปืนที่ออกแบบให้มีร่องสำหรับใส่แหวนสปริงที่วงนอกอีกด้วย

2) ตลับลูกปืนเม็ดกลมสองแถวปรับแนวได้เอง เป็นตลับลูกปืนเหมาะสำหรับลักษณะการใช้งานที่ต้องมีลักษณะของการเยื้องแนวเกิดขึ้น (Misalignment) มีทั้งแบบเปิดและแบบที่มีฝาปิดกันฝุ่นสองข้าง และภายในตลับลูกปืนมีจาระบีบรรจุอยู่มาจากโรงงานและไม่จำเป็นต้องมีการอัดจาระบีเพิ่มเติม (Maintenance-free) นอกจากนั้น ยังมีแบบรุ่นที่มีรูเรียวสำหรับใช้งานกับปลอกปรับขนาดเพลาติดตั้งในชุดเสื้อพลัมเมอร์บล็อก เหมาะกับการออกแบบเครื่องจักรที่ต้องการความประหยัด

3) ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม เป็นตลับลูกปืนที่ออกแบบมาให้เหมาะสำหรับการรับแรงรวมที่เกิดจากแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนกระทำกับตลับลูกปืนพร้อมกัน และเป็นตลับลูกปืนที่ช่วยเพิ่มความแข็งเกร็งของเพลา นอกจากนั้น ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมสองแถวยังมีรุ่นที่มีฝาปิดกันฝุ่นให้เลือกใช้งาน และช่วยทำให้การออกแบบเครื่องจักรง่ายขึ้น เนื่องจากตลับลูกปืนสามารถกำหนดตำแหน่งของเพลาได้ทั้งสองทิศทาง และยังมีตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมสี่จุด ช่วยลดพื้นที่ที่จำเป็นของตลับลูกปืนสำหรับลักษณะการใช้งานที่มีแรงรุนในแนวแกนเกิดขึ้นทั้งสองทิศทาง

4) ตลับลูกปืนเม็ดทรงกระบอก สามารถใช้รองรับแรงกดในแนวรัศมีที่มีปริมาณมาก และเหมาะกับลักษณะงานที่มีความเร็วรอบสูง ตลับลูกปืนเม็ดทรงกระบอกแถวเดี่ยวรุ่นการออกแบบ EC-designที่ได้รับการออกแบบโครงสร้างภายในใหม่ ช่วยเพิ่มความสามารถรับแรงกดในแนวรัศมีและแรงรุนในแนวแกนให้สูงขึ้น ลดผลเสียที่เกิดจากปัญหาการเยื้องแนวของเพลา ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการหล่อลื่นตลับลูกปืน รุ่นส่วนประกอบสมบูรณ์ (Full Complement)

เป็นตลับลูกปืนที่ไม่มีรังเป็นองค์ประกอบ บรรจุด้วยเม็ดลูกกลิ้งอยู่เต็มจำนวน เหมาะสำหรับลักษณะการใช้งานที่ต้องการความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีที่สูงมากๆ แต่ความเร็วใช้งานปานกลาง

5) ตลับลูกปืนเม็ดเข็ม เป็นตลับลูกปืนที่มีหน้าตัดเล็ก (Low Sectional Height) เหมาะกับลักษณะงานที่มีพื้นที่หน้าตัด สำหรับตลับลูกปืนที่มีขนาดจำกัดหรือสำหรับการออกแบบการติดตั้งตลับลูกปืนต้องมีลักษณะเล็กกะทัดรัดเป็นพิเศษ

6) ตลับลูกปืนเม็ดโค้ง เป็นตลับลูกปืนที่แข็งแรงทนทานและมีความสามารถรองรับการเยื้องแนวของเพลา ให้ประโยชน์ในเรื่องความน่าเชื่อถือในการใช้งานที่สูงและอายุการใช้งานที่ยาวนาน แม้ภายใต้สภาวะการใช้งานที่ต้องรับแรงในปริมาณที่สูงมาก เป็นตลับลูกปืนที่ใช้งานได้ทั้งแบบติดตั้งใช้งานบนปลอกปรับขนาดเพลา หรือปลอกสวมเพลาประกอบในตัวเสื้อพลัมเมอร์บล็อก สำหรับการออกแบบลักษณะการประกอบติดตั้งใช้งานตลับลูกปืนที่ประหยัด นอกจากนั้น ยังมีตลับลูกปืนรุ่นที่มีฝาปิดสองข้าง

7) ตลับลูกปืนเม็ดเรียว ออกแบบสำหรับการรับแรงรวมที่มีปริมาณมาก โดยเฉพาะรุ่น TQ-line ที่ออกแบบมาให้ลดผลเสียของปัญหาเนื่องจากการเยื้องแนวของเพลา ช่วยให้อายุการใช้งานยาวนานโดยเฉพาะรุ่นการออกแบบ CL7C ที่มีการผลิตให้มีความแม่นยำสูง ลดแรงเสียดทานจากแรงบิด อาจออกแบบติดตั้งสองตลับชนกัน DF DB DT

8) ตลับลูกปืน CARB เป็นตลับลูกปืนรุ่นใหม่ที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาโดยเราสามารถให้ความหมายของตลับลูกปืน CARB ได้ดังต่อไปนี้ คือ กะทัดรัด (C) สามารถยอมรับการเยื้องแนวได้ (A) ตลับลูกปืนเม็ดโค้ง (R) ตลับลูกปืน (B) ความหมายโดยรวมก็คือ ตลับลูกปืนเม็ดโค้งแถวเดี่ยว (กะทัดรัด) ปรับแนวได้

9) ตลับลูกปืนเม็ดโค้งกันรุน เป็นตลับลูกปืนที่มีความแข็งแรงและมีความสามารถในการให้ตัวและยอมรับการเยื้องแนวได้ ดังนั้น ตลับลูกปืนจึงสามารถใช้งานได้ถึงแม้จะมีปัญหาการเยื้องแนวของเพลา ตลับลูกปืนถูกออกแบบมาให้สามารถรับแรงรุนในแนวแกนได้ในปริมาณที่สูง และสามารถรับแรงกดในแนวรัศมีกระทำพร้อมๆ กันได้ถึงประมาณร้อยละ 55 ของแรงรุนในแนวแกนที่กระทำพร้อมๆ กัน เป็นตลับลูกปืนที่มีอายุการใช้งานยาวนานและมีความน่าเชื่อถือสูง ถึงแม้จะนำไปใช้งานในสภาวะการทำงานที่รุนแรง ตลับลูกปืนมีลักษณะการออกแบบที่แยกส่วนได้ ช่วยทำให้การติดตั้งเป็นเรื่องง่ายขึ้น นอกจากนั้น ยังมีตลับลูกปืนตลอดจนผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องประเภทอื่นๆ อีก เช่น ตลับลูกปืนเม็ดเรียวชนิดไขว้ ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลม ตลับลูกปืนกันรุนสัมผัสเชิงมุม ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดทรงกระบอก ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดเข็ม ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดโค้ง ตลับลูกปืนกัน

รุนเม็ดเรียว ตลับลูกปืนวาย Cam Rollers Support Rollers Cam ชุดเสื้อพลัมเมอร์บล็อกอุปกรณ์บำรุงรักษา และอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน

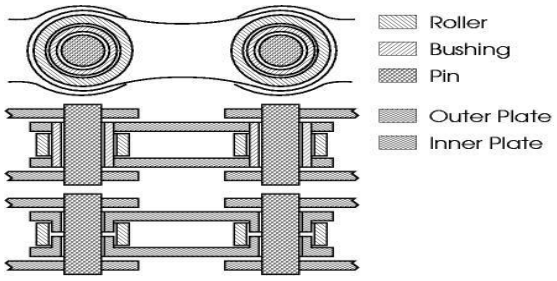
2.5.7.2 ประเภทของตลับลูกปืน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) ตลับลูกปืนประเภทที่ไม่มีเม็ดลูกกลิ้ง (Plain Bearings) และตลับลูกปืนที่มีเม็ดลูกกลิ้ง (Rolling Bearings) สำหรับเครื่องจักรที่ได้รับการผลิตในปัจจุบันเกือบทั้งหมดจะเลือกใช้ตลับลูกปืนที่มีเม็ดลูกกลิ้ง เนื่องจากค่าความเสียดทานที่ต่ำกว่า มีความสามารถในการรับแรงที่ดี การสึกหรอต่ำ และดูแลรักษาได้ง่ายกว่า

10) ตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว ด้วยการออกแบบของเม็ดลูกกลิ้งที่แตกต่างกัน ทำให้ตลับลูกปืนที่มีมิติขนาดเท่ากัน เม็ดยาวจะสามารถรับแรงได้มากกว่าเม็ดกลม แต่ในทางตรงข้าม ตลับลูกปืนเม็ดยาวสามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบที่ต่ำกว่าเม็ดกลม เนื่องจากความเสียดทานที่สูงกว่าของผิวสัมผัสนี่เอง

2.4.8 โซ่

โซ่ เป็นชิ้นส่วนจักรกลที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ถ่ายทอดการเคลื่อนที่ระหว่างการเคลื่อนที่แบบหมุนจากจานขับโซ่ (Sprocket) ไปยังจานขับโซ่อีกอันหนึ่ง โดยทั่วไปโซ่จะผลิตมาจากเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง ดังนั้น จึงสามารถที่จะส่งแรงบิดและกำลังได้ดีกว่าการส่งกำลังโดยใช้สายพาน การส่งกำลังด้วยโซ่นิยมใช้กันมากทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับด้วยสายพาน โดยโซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาขับและเพลาตาม อัตราทดของการขับจะขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่ เนื่องจากการส่งกำลังด้วยโซ่มีความน่าเชื่อถือสูงจึงมีความนิยมใช้มาก เช่น ในการส่งกำลังในเรือ เครื่องยนต์ เครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องมือกล เครื่องทอผ้าและเครื่องจักรกลงานไม้ เครื่องพิมพ์ และใช้ในการขนส่งและขนถ่ายวัสดุ การส่งกำลังด้วยโซ่มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับการขับด้วยสายพาน และการขับด้วยเฟืองเกียร์ คือราคาหรือต้นทุนต่ำกว่า มีสมรรถนะในการส่งกำลังดีกว่าและง่ายในการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับได้ในระยะทางไกลกว่าสายพาน และขับได้พร้อมๆกันหลายเพลา



รูปที่ 2-15 ลักษณะของโซ่

ที่มา : เว็บไซต์ www.thaimtb.comcgi-binviewkatoo.plid=57719&st=331

2.5.8.1 ข้อดีของการขับด้วยโซ่ ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง และไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงชั้นต้นในโซ่เหมือนกับสายพาน ทำให้อายุใช้งานของตลับลูกปืนยาวนานกว่า ไม่มีการสลิปในขณะส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน มีขนาดกะทัดรัดกว่าสายพานเมื่อใช้งานด้วยอัตราทดที่เท่ากัน เฟืองโซ่จะมีขนาดเล็กกว่าล้อสายพาน และถ้าต้องการการส่งกำลังที่เท่ากันความกว้างของสายพาน ติดตั้งง่ายกว่าสายพานเพราะเพียงแค่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น ใช้งานได้กับอุณหภูมิสูงบริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

2.5.8.2 ข้อเสียของการขับด้วยโซ่ มีเสียงดังจากการใช้งาน ต้องมีการหล่อลื่น เนื่องจากความเร็วรอบสูงจึงอันตรายเมื่อโซ่ขาด ส่งกำลังแบบครอสไดร์ไม่ได้ และ มีราคาแพงกว่าการขับด้วยสายพาน

2.5.8.3 ชนิดของโซ่แบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆได้ 3 ชนิด

1) โซ่โรลเล่อร์ (Roller Chain) โซ่ชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นต่อ (Link) ด้านในและด้านนอกยึดติดกันด้วยสลักและบูช (Bush) โดยมีโรลเลอร์สวมอยู่ตรงกลางกับบูช

2) โซ่บูช (Bushed chain) โซ่ชนิดนี้แตกต่างจากโซ่โรลเล่อร์ก็ตรงที่ไม่มีโรลเลอร์ดังนั้น จึงสามารถออกแบบให้บูช และสลักมีขนาดใหญ่ได้มากกว่าโซ่โรลเลอร์ โดยที่มีระยะพิตช์เท่ากัน โซ่บูชจึงรับแรงได้มากกว่าและแข็งแรงกว่า แต่เนื่องจากในการใช้งานจะมีเสียงดังและมีการสึกหรอมากกว่า โดยทั่วไปแล้วจึงนิยมใช้โซ่โรลเล่อร์มากกว่าโซ่บูช

3) โซ่ฟัน (Toothed chain) โซ่ชนิดนี้อาจเรียกว่า Silent chain ก็ได้ โซ่ฟันประกอบด้วยแผ่นต่อหลายแผ่นเรียงซ้อนกัน และยึดกันด้วยสลัก แผ่นต่อแต่ละแผ่นจะมีฟันสองฟันในขณะส่งกำลัง ข้อต่อโซ่จะทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของข้อโซ่ ทำให้โซ่แนบสนิทกับฟันบนเฟืองโซ่ จึงมี

การสึกหรอน้อย โซ่ฟันใช้ขับด้วยความเร็วสูงกว่าโซ่โรลเล่อร์ ทำงานได้โดยเกือบจะไม่มีเสียงดัง แต่จะมีน้ำหนักมากกว่าโซ่โรลเล่อร์ ราคาแพงกว่าและต้องการให้มีการบำรุงรักษาที่ดีกว่าโซ่โรลเล่อร์

2.4.9 เฟือง

เฟือง แต่ละชนิดมีหน้าที่หลักที่เหมือนกัน คือ ใช้ในการส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน แต่การใช้งานของเฟืองแต่ละชนิดจะมีหน้าที่รองต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.9.1 เฟืองตรง เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกัน เฟืองตรงเหมาะสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ หรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตร ต่อนาที เช่น ชุดเฟืองทดลองของเครื่องกลึงเพื่อเดินกลึงอัตโนมัติ หรือชุดเฟืองทดลองของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ความเร็วรอบต่ำๆ

2.5.9.2 เฟืองสะพาน ในการใช้งานของเฟืองสะพาน(RACK) จะต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่เรียกว่า “พินเนียน(PINNION)” เสมอ ก็จะสามารถทำการส่งกำลังได้ ลักษณะการใช้งานของเฟืองสะพาน ตัวอย่างเช่น เฟืองสะพานของเครื่องกลึงยันศูนย์ ที่ช่วยให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ ซ้าย-ขวา หรือเฟืองสะพานของเครื่องเจาะ ที่ทำหน้าที่เคลื่อนเพลาเครื่องเจาะให้ขึ้นลง

2.5.9.3 เฟืองหนอน เฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวหนอน เพื่อให้เฟืองหนอนส่งกำลังไปเฟืองหนอน เป็นการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา เป็นการส่งกำลังจากความเร็วรอบสูงให้มาเป็นความเร็วรอบต่ำ การส่งกำลังของชุดเฟืองหนอนของชุดหัวแบ่งของเครื่องกัด ลักษณะการใช้งาน

2.5.9.4 เฟืองโซ่ เป็นเฟืองที่ใช้ในการส่งกำลังที่ดีอีกชนิดหนึ่งซึ่งใช้งานร่วมกันกับโซ่ ลักษณะของเฟืองจะคล้ายกันกับเฟืองตรง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพล ชัยทวิชธานันท์ (2555) ได้ทำการนำเทคโนโลยีการประมวลภาพมาตรวจสอบตำหนิบนฝักมะขามเพื่อคัดแยกฝักมะขามเสียออกจากฝักมะขามดี โดยใช้ค่าของแสงสว่างจากภาพถ่ายฝักมะขามในการคัดแยก จากผลการทดสอบเพื่อหาค่าระดับความเข้มของแสง 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ทำการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างมะขามพันธุ์ศรีชมพูจำนวน 30 ฝัก กับระดับค่าความเข้มแสงที่ 0.10 – 0.30 ได้ผลค่าแสงที่พิจารณาตำหนิที่เหมาะสมในช่วงที่ 0.15 – 0.20 ขั้นตอนที่ 2 ทำการทดสอบกับมะขาม

พันธุ์ศรีชมพูจำนวน 100 ฝัก กับระดับค่าความเข้มแสงที่ 0.15 – 0.20 ได้ผลของค่าแสงที่พิจารณาตำหนิที่มองเห็นได้ชัดในช่วงระดับที่ 0.15 – 0.16

นิติพงษ์ ใจสิน (2549) ได้ทำการคัดแยกฝักมะขามหวานด้วยวิธีการแปรรูปภาพ ด้วยการวัดตัวแปรระบุรูปร่าง ขนาด และตำหนิฝักมะขามหวานที่ใช้เป็นพันธุ์ที่นิยม คือ พันธุ์สีทอง และศรีชมพู โดยใช้อุปกรณ์คัดแยกฝักมะขามหวานระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย กล้องทีวีวงจรปิดดัดแปลงให้ทำงานร่วมกับการ์ดทีวี ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ และคอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Image Processing และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรระบุรูปร่าง ขนาด และตำหนิ ปัจจัยควบคุมได้แก่ ความเร็วสายพาน ลักษณะของการวางฝักมะขามหวาน ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝัก ระยะห่างการวางฝักบนสายพานลำเลียง จากผลการทดลองพบว่า ตัวแปรกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพ ค่า C ของฝักไม่เกิน 55% ฝักดาบอยู่ระหว่าง 57 – 65% และฝักโค้งมากกว่า 68% อัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาในพันธุ์สีทองเท่ากับ 1.25 และพันธุ์ศรีชมพูเท่ากับ 1.02 มุมขั้วฝักพันธุ์สีทองเท่ากับ 152 องศา และพันธุ์ศรีชมภูอยู่ที่ 125 องศา ปัจจัยควบคุมในการวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรระบุรูปร่าง ขนาด และรอยแตก อุปกรณ์วัดสามารถแยกฝักมะขามหวานตามรูปร่าง ขนาด และรอยแตกได้ประสิทธิภาพการคัดขนาด อัตราส่วนสิ่งเจือปนเฉลี่ย และสมรรถนะเท่ากับ 89.8% 10.2% และ 1,517 ฝัก/ชั่วโมง และ 94.3% 5.7% และ 1491 ฝัก/ชั่วโมง สำหรับมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมพูตามลำดับ อุปกรณ์วัดสามารถตรวจจับรอยแตกที่มีขนาดมากกว่า 0.49 ตารางเซนติเมตรได้ 100%

วรวิทย์ วรนาวิน (2550) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมะขามเปียกในโรงงานที่ใช้มือในการกวนทั้งหมด ทำให้น้ำมะขามเปียกไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้มาตรฐาน ดังนั้นจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 HP 220 Volts AC ที่ 1425 rpm 1:40 ใบกวน และถังบรรจุวัตถุดิบ 2 ชั้นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 0.5 m and 0.6 m ตามลำดับ โดยระบบการทำงานนั้นจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่งกำลังผ่านเกียร์ทดรอบ ด้วยความเร็วรอบ 35.6 RPM เพื่อใช้ขับใบกวนและให้ความร้อนด้วยแก๊ส LPG ในขณะที่ถังชั้นนอกบรรจุน้ำเพื่อใช้ในการส่งผ่านความร้อนสู่ถังชั้นใน จากผลการทดสอบเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกจำนวน 70 กิโลกรัม โดยใช้เชื้อเพลิง 0.7 กิโลกรัม พบว่า ภายใต้การพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ 80 องศา และ 65 นาที ทำให้คุณภาพของน้ำมะขามเปียกเพิ่มขึ้นหรือไม่มีการไหม้ของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบเดิมและยังแสดงให้เห็นว่าเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกนี้ยังสะดวกต่อการใช้งานอีกด้วย

ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ (2556) วิจัยเรื่องการพัฒนาประสิทธิภาพและสร้างชุดถอดรกมะขาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพและสร้างชุดถอดรกมะขาม ผลการวิจัยพบว่าการสร้างชุดถอดรกมะขาม ประกอบด้วย รางเลื่อนลูกปืนแกนหนีบ รางบังคับฝักมะขามด้านหน้า รางเลื่อนลูกปืนเข็ม ชุดหนีบรกมะขามด้านซ้าย - ขวา เข็มเสียบขั้วมะขามด้านซ้าย เข็มเสียบขั้วมะขามด้านขวา รางบังคับฝักมะขามด้านหลัง ชุดรอกบังคับลวดสลิง ชุดส่งกำลัง การประเมินประสิทธิภาพการออกแบบชุดถอดรกมะขาม มีค่าเฉลี่ย 3.70 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 อยู่ในเกณฑ์ระดับคุณภาพดี ด้านประสิทธิภาพการทำงานของชุดถอดรกมะขาม เวลาที่ใช้ในการถอดรกมะขาม เฉลี่ย 14.58 นาที ต่อมะขาม 1 กิโลกรัม คุณภาพฝักมะขามที่ได้ คิดเป็นร้อยละของจำนวนฝักมะขามเฉลี่ย 1 กิโลกรัม คุณภาพฝักมะขามที่ได้จากการถอดรกมะขาม คงสภาพฝักร้อยละ 96 ไม่คงสภาพฝักร้อยละ 4

สุภัทร หนูสวัสดิ์ และคณะ (2537) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมร้อน (tunnel dryer) บรรจุรถเข็นสำหรับวางถาดใส่วัสดุอบ 5 คัน คันละ 10 ถาด คิดเป็นพื้นที่การอบแห้งทั้งหมด ๒๘ ตารางเมตร ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยมีพัดลมแบบไหลตามแกนขนาด 1 แรงม้า จำนวน 2 ตัว เป็นตัวทำให้ลมร้อนไหลวนมีระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ที่สามารถปรับได้ 100 องศาเซลเซียส โดยมีความละเอียดถึง 1 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า สามารถอบแห้งมะขามหวานได้ครั้งละ 300 กิโลกรัม โดยอบมะขามที่แห้งแล้ว ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถฆ่าแมลงและลดการเกิดเชื้อราได้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 1.5 หน่วย และแรงงาน 4 คน การอบแห้งมะขามที่มีความชื้นสูง ได้ทดสอบอบแห้งมะขามหวานที่มีความสุกแก่ในระยะคาบหมู ที่มีความชื้น 20-28 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดความชื้นลงเหลือ 11 เปอร์เซ็นต์ wb โดยใช้เวลา 8-10 ชั่วโมง โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สประมาณ 1.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งสามารถเก็บรักษาให้ปลอดภัยจากแมลงและเชื้อราได้ และยังช่วยให้เก็บเกี่ยวมะขามได้เร็วกว่ากำหนด และลดจำนวนครั้งในการเก็บเกี่ยวลงได้ ในกรณีที่เกิดฝนตกหลายวัน ในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวมะขามหวาน การอบแห้งจะช่วยลดความเสียหายจากเชื้อราได้มาก

ชริน สังข์เกษมและคณะ (2549) ได้นำเสนอกระบวนการผลิตมะขามแก้วโดยแบ่ง ออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรก เป็นการออกแบบเครื่องกวนมะขาม แก้วควบคุมการทำงานโดยวงจรโอเวอร์โหลดเพื่อตัดกระแสของ มอเตอร์ส่งกำลังให้สัมพันธ์กับความหนืดของมะขามแก้วขณะที่ กวน ในการทดลองจะมีการวัดสัมประสิทธิ์ความหนืดของมะขามแก้วเมื่อสุก กับกระแสที่ไหลผ่านานมอเตอร์วงจรโอเวอร์โหลดจะ ตัดกระแสพอดีเมื่อมะขามสุก และตัดกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปโซลินอยด์วาล์วเพื่อตัดการไหลของแก๊ส เครื่องกวนมะขามแก้ว สามารถกวนได้สูงสุด 7.5 กิโลกรัม ต่อครั้ง ส่วนที่สอง เป็นการ

ออกแบบเครื่องอัดเม็ดมะขามแก้วโดยใช้ชุดสกรูอัดมะขามออกมา เป็นแท่งและคลุกกับน้ำตาลในถาดคลุก ซึ่งทำให้มะขามแก้วเข้า กับน้ำตาลทราย

ธิติยา ทองเกินและคณะ (2548) ได้ศึกษาการตลาดมะขามเปรี้ยวในการพัฒนาสู่กลยุทธ์ผลิตภัณฑ์มะขามเปรี้ยวสำเร็จรูป (บทคัดย่อ) เพื่อศึกษาแนวความคิดผลิตภัณฑ์ (Product concept) เพื่อเพิ่ม มูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์จากมะขามเปรี้ยวสำเร็จรูป พบว่า กลุ่มผู้บริโภคที่มีความตั้งใจซื้อผลิตภัณฑ์ ประเภทผงมะขามเปรี้ยวสำเร็จรูปและน้ำมะขามเปรี้ยวสำเร็จรูป อยู่ในระดับสูง จะใช้เวลาทำอาหาร น้อยกว่า 30 นาที/ครั้ง เป็นกลุ่มที่ให้ความสำคัญกับความสะดวกอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนแนวคิด ผลิตภัณฑ์มะขามเปรี้ยวเข้มข้น ซึ่งมุ่งที่การใช้ประโยชน์เป็นเครื่องสำอางร่วมด้วย เป็นกลุ่มผู้ซื้อที่ ยังไม่สมรส ไม่มีบุตร/หลาน มีรายได้ปานกลางและให้ความสำคัญกับความสะดวกในระดับปานกลาง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีแล้วในเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบ และขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอนเพื่อนำมาพัฒนากระบวนการผลิตให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยมีขั้นตอนในการพัฒนากระบวนการผลิตหลัก ๆ อยู่ 3 หัวข้อประกอบด้วย คือ การออกแบบและการสร้างเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอนและการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักร รวมถึงมีการทดสอบร่วมกับชุมชนเพื่อหาความพึงพอใจสำหรับใช้ในการปรับปรุงเครื่องจักรก่อนนำไปพัฒนาต่อยอดให้เครื่องสามารถใช้ในเชิงพานิชในอนาคตต่อไป

3.1 หลักการทำงานของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

ระบบการส่งกำลัง การส่งกำลังของเครื่องส่งกำลังจากมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าความเร็วรอบมอเตอร์ 1400 รอบต่อนาที ผ่านพูเลย์เพลาตามขนาด 304.8 มิลลิเมตร ผ่านโซ่ และสเตอร์โดยสเตอร์ขับมี 13 ฟัน และสเตอร์ตาม 20 ฟัน เพื่อหมุนเพลาชุดใบมีดคู่ในการนั่นเนื้อมะขาม และส่งกำลังไปยังพูเลย์เพลาขับขนาดความโต 76.2 มิลลิเมตร ไปยังพูเลย์เพลาตามขนาด ความโต 254 มิลลิเมตร เพื่อไปหมุนใบปั่นสำหรับคลุกเนื้อมะขาม ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1400 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของชุดใบมีดคู่ตัดเนื้อมะขาม 98 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของใบคลุก มะขาม 30 รอบต่อนาที โดยมีวิธีการปฏิบัติดังต่อไปนี้

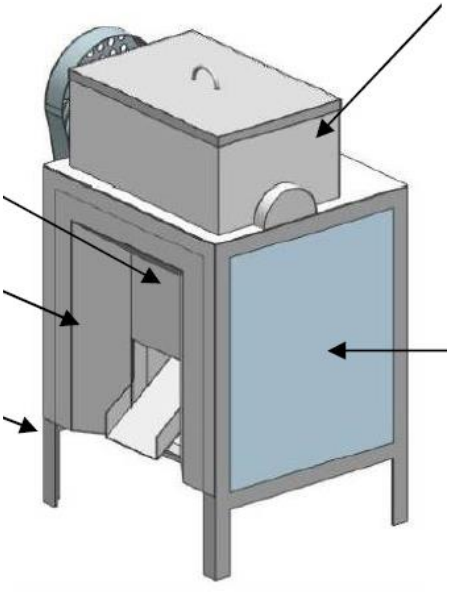
3.1.1 ผู้ปฏิบัติงานนำมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่แกะเมล็ดออกแล้วน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกกรัม

3.1.2 เตรียมน้ำตาลเพื่อใช้คลุกเคล้ากับมะขาม ซึ่งจะแล้วแต่สูตรของผู้ประกอบการ โดยในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำตาล 300 กรัม

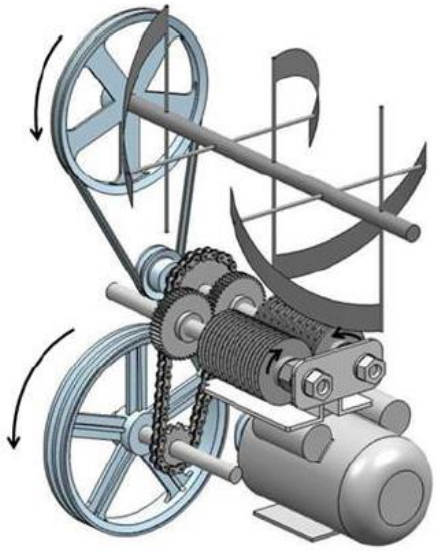
3.1.3 เปิดสวิตซ์เพื่อให้เพลาชุดใบมีดคู่ในการหั่นเนื้อมะขามและหมุนชุดกลไกผสมสำหรับคลุกเนื้อมะขามและน้ำตาลทำงาน

3.1.4 ชุดกลไกผสมจะทำหน้าที่ในการคลุกเคล้าเนื้อมะขามและน้ำตาล จากนั้นผู้ปฏิบัติงานจะเปิดช่องให้มะขามร่วงลงมาเจอชุดใบมีดคู่ในการนั่นเนื้อมะขาม เพื่อให้มะขามถูกหั่นเป็นชิ้นเล็ก ความยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร

3.1.5 เนื้อมะขามที่ผ่านการหั่นแล้วจะไหลผ่านช่องลำเลียงเนื้อมะขามลงมาใส่ภาชนะที่ผู้ปฏิบัติงานได้เตรียมไว้ จากนั้นผู้ปฏิบัติงานนำมะขามละบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ต่อไป



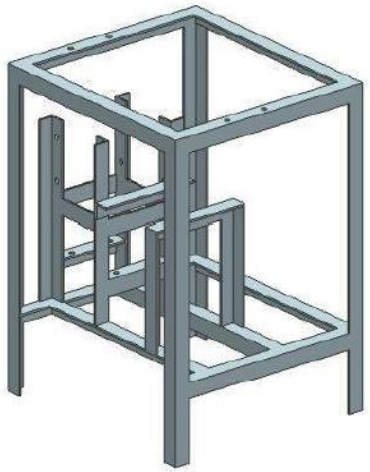
รูปที่ 3-1 ระบบการทำงานของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน



รูปที่ 3-2 กลไลการทำงานเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

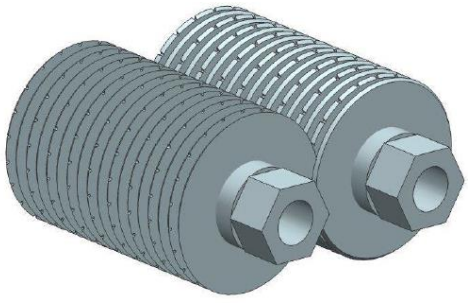
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

3.2.1 โครงสร้างเครื่องคลุกมะขามแบบแนวนอน ทำหน้าที่ยึดโครงสร้างและ ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง สร้างโดยใช้เหล็กฉากขนาด 40 มิลลิเมตร โดยมีขนาดความกว้าง 550 มิลลิเมตร ความยาว 600 มิลลิเมตร ความสูง 800 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 3-3



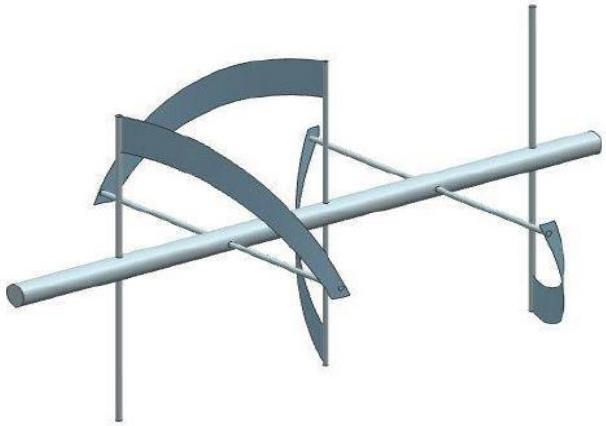
รูปที่ 3-3 โครงสร้างเครื่องจักร

3.2.2 ชุดใบมีดคู่สำหรับนั่นเนื้อมะขาม ทำหน้าที่นั่นเนื้อมะขามที่ผ่านการคลุกแล้ว ให้เป็นชิ้นเล็กๆไม่เกิน 5 เซนติเมตรสร้างขึ้นจากเหล็กอัลลอยด์ซึ่งมีคุณสมบัติทนแรงเสียดทานได้ดี แต่รับแรงกระแทกได้น้อยกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกลุ่มนี้เน้นการรักษาคมมีด ใบมีดมีขนาดความ โต 100 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างใบมีด 6 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 3-4



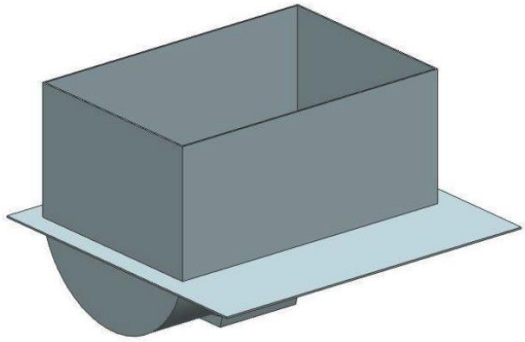
รูปที่ 3-4 ชุดใบมีดคู่สำหรับนั่นเนื้อมะขาม

3.2.3 ใบปั่นสำรับคลุกเนื้อมะขาม ทำหน้าที่คลุกเคล้าเนื้อมะขามให้ส่วนผสม ทั้งหมดเข้ากัน โดยมีส่วนผสมหลักๆ คือ เนื้อมะขาม น้ำตาล เกลือ และพริกปุ่น สร้างขึ้นจาก เหล็กกกล้าไร้สนิมหรือสเตนเลสชนิด 304 เป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง จึงไม่เป็นสนิม มีความเป็นกลางจึงไม่ทำปฏิกิริยากับกรดและเกลือที่อยู่ในอาหาร มีขนาดความยาว 670 มิลลิเมตร ความกว้างระหว่างใบคลุก 240 มิลลิเมตร รัศมีใบคลุก 170 องศาแสดงในภาพที่ 3-5



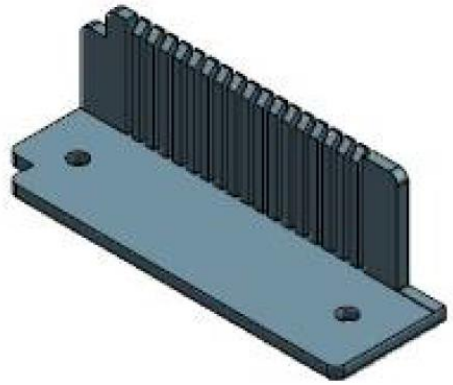
รูปที่ 3-5 ใบคลุกมะขาม

3.2.4 ถังคลุกมะขาม ทำหน้าที่ไว้สำหรับใส่เนื้อมะขามและ ส่วนผสมต่างๆ คือ น้ำตาล เกลือ และพริกปุ่น สร้างโดยใช้สเตนเลสชนิด 304 หนา 2 มิลลิเมตร ความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 55 เซนติเมตร ความสูง37 เซนติเมตร มีขนาดปริมาตรความจุ 565 ลูกบาศก์เมตร ตัดม้วนและเชื่อมขึ้นรูป แสดงในภาพที่ 3-6



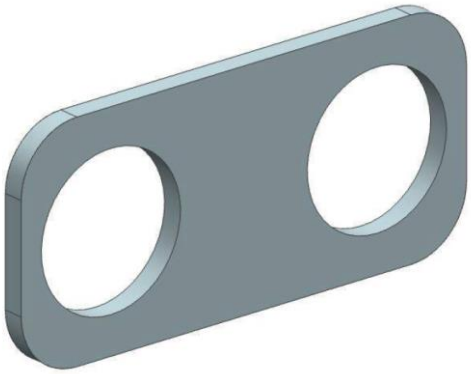
รูปที่ 3-6 ถังผสม

3.2.5 หวีรองใบมีดสำหรับแซะเนื้อมะขาม ทำหน้าที่ประคองใบมีดทั้งหมดไม่ให้ เกิดการบิด ซึ่งจะทำให้ใบมีดแตกและช่วยแซะเนื้อมะขามไม่ให้ติดใบมีดสร้างจากเหล็กฉากสเตนเลส ขนาดความยาว 208 มิลลิเมตร กว้าง 64 มิลลิเมตร สูง 64 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ระยะห่าง ระหว่างช่อง 3 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 3-7



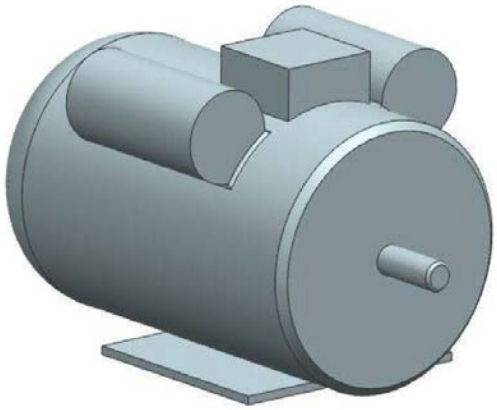
รูปที่ 3-7 หวีรองใบมีดแซะเนื้อมะขาม

3.2.6 ชุดประคองเพลาใบมีด ทำหน้าที่ยึดประคองชุดใบมีดคู่ไม่ให้แยกออกจาก กัน ป้องกันการแตกหักของใบมีดสร้างขึ้นจากเหล็กแผ่นขนาดความหนา 8 มิลลิเมตร กว้าง 75 มิลลิเมตร ยาว 160 มิลลิเมตร ทำการเจาะรูใส่ตลับลูกปืนขนาดความโต 40 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 3-7



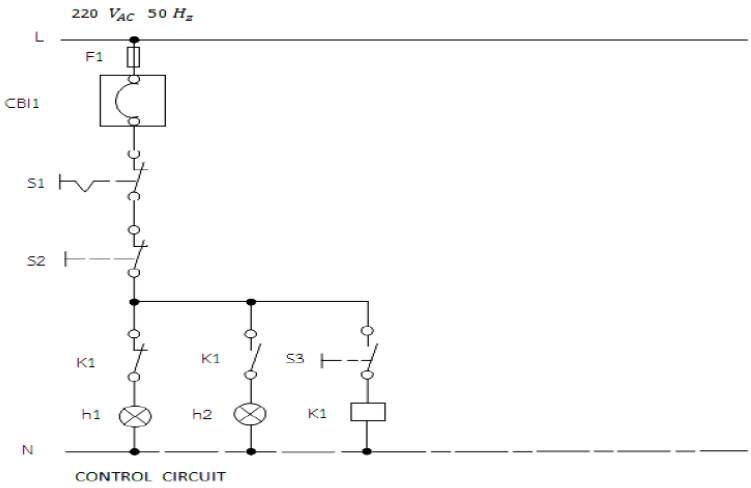
รูปที่ 3-8 ชุดประคองเพลาใบมีด

3.2.7 มอเตอร์ส่งกำลังเครื่องคลุกและนั่นเนื้อมะขาม ทำหน้าที่ส่งกำลังไปยัง พูเลย์เพลาขับตามเพื่อไปหมุนชุดใบมีดคู่และใบปั่นสำหรับคลุกมะขาม มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ กระแสสลับหรือ A.C. มอเตอร์ ขนาด 1 แรงม้า ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ 4.8 แอมแปร์ ความเร็วรอบของ มอเตอร์อยู่ที่ 1400 ต่อนาที แสดงในภาพที่ 3.14 - 3.15

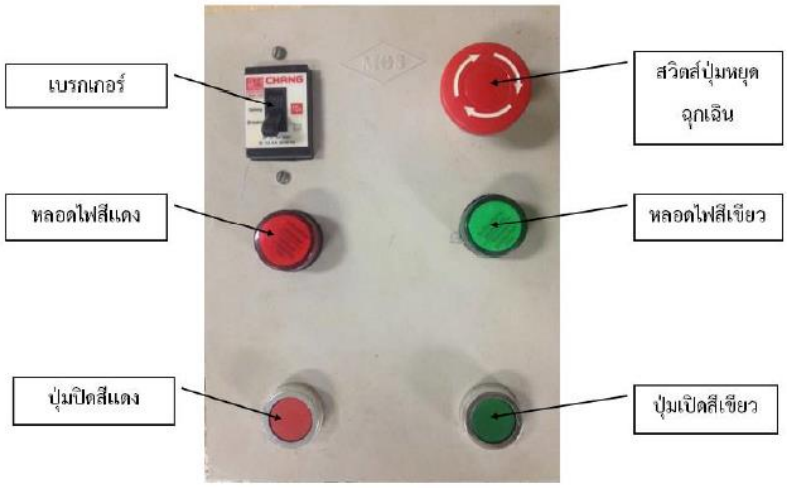


รูปที่ 3-9 มอเตอร์ส่งกำลัง

3.2.8 ชุดควบคุม ชุดควบคุมทำหน้าที่เป็นชุดวงจรควบคุมระบบไฟฟ้าในการ ทำงานของเครื่องคลุกมะขามแบบแนวนอน ประกอบด้วยเบรกเกอร์ สวิตซ์ปิด/เปิด (ON/OFF) พร้อม หลอดไฟแสดงการทำงานเขียวแดงอย่างละ 1 ชุด และสวิตซ์ปุ่มหยุดฉุกเฉิน แสดงในภาพที่ 3.16 - 3.17



รูปที่ 3-10 วงจรควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3-11 ชุดควบคุม

3.2.1 ชุดควบคุม ทำหน้าที่เป็นชุดวงจรควบคุมระบบไฟฟ้าในการทำงานของเครื่องแล่เนื้อปลาลำตัวแบน ประกอบด้วยเบรกเกอร์ 2 ตัว และสวิตซ์ ปิด/เปิด 2 ชุด สวิตซ์ปุ่มกดควบคุมมอเตอร์ต้นกำลัง เพื่อส่งผ่านไปที่ชุดสายลำลียงและชุดใบมีด สวิตซ์ปุ่มกด 4 ตัว พร้อมหลอดไฟแสดงสถานะภาพการทำงานจำนวนทั้งหมด 4 หลอดดังที่แสดงในภาพที่ 3-9 และ 3-10

3.3 การทดสอบการทำงาน

การทดสอบการทำงานเพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องแล่ปลานั้นแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ประกอบด้วย การทดสอบการทำงานร่วมกับวิสาหกิจชุมชน การทดสอบการทำงานหลังจากการปรับปรุง สามารถอธิบายได้โดยสังเขปดังต่อไปนี้

3.3.1 เบื้องต้นคณะนักวิจัยจะนำเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้เบื้องต้นไปลงพื้นที่เพื่อทดสอบร่วมกับวิสาหกิจชุมชนฯ สำหรับหาแนวทางการปรับปรุง เพื่อนำมาพัฒนาเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น โดยผ่านการประเมินแบบทดสอบจำนวน 5 ท่าน จากคำถามทั้งหมด 6 ประเด็น ประกอบด้วย ด้านการออกแบบเครื่อง ความปลอดภัย สะดวกสบายในการใช้งาน

3.3.2 คณะผู้วิจัยนำข้อบบกพร่องกลับมา และทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงเพื่อทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ดียิ่งขึ้น โดยการพิจารณาประสิทธิภาพจะใช้การสังเกตจาก ลักษณะของเนื้อปลาที่ได้ และเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

3.3.3 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง จากนั้นหาแนวทางเพื่อต่อยอดในการพัฒนาเครื่องจักรให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และทำงานได้หลากหลายยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในงานบทนี้จะแสดงผลลัพธ์ในงานวิจัยชิ้นนี้ แบ่งการอธิบายออกเป็น 2 ระยะ ในระยะแรกเป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร และระยะที่ 2 เป็นการทดสอบเครื่องจักรร่วมกับชุมชนเพื่อข้อบกพร่อง โดยใช้การประเมินผลลัพธ์จากการประเมินความพึงพอใจของตัวแทนจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการแปรรูปมะขามจี๊ดจ๊าด

รูปที่ 4-1 เครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

รูปที่ 4-2 แบบชุดใบมีดคู่สำหรับหั่นเนื้อมะขาม

4.1 ระยะที่ 1 การทดสอบเบื้องต้น

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้เครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอนเบื้องต้น ณ อาคารปฏิบัติการ 18/6 คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยนำมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่ผ่านการแกะเปลือก รก และเมล็ดออกทั้งหมดเหลือเพียงเนื้อมะขาม ดังนั้นส่งที่จะนำเข้าเครื่องจักรมีเพียงเนื้อมะขาม 1,000 กรัมหรือ 1 กิโลกรัม และน้ำตาลจำนวน 300 กรัม เกลือ 20 กรัม และพริกป่น 20 กรัม มะขามที่ได้จากการทดสอบเครื่องจักร ต้องผ่านการคลุกเคล้ากับน้ำมะตาล และออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ ไม่เกิน 5 เซ็นติเมตร โดยเป้าประสงค์ของการตรวจสอบได้แก่ เวลา และปริมาณมะขามที่ได้ โดยมีแปรควบคุมและตัวแปรการตรวจวัดดังต่อไปนี้

4.1.1 ตัวแปรควบคุม

4.1.1.1 มะขามที่ใช้ในการทดสอบต้องเป็นมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่นำเปลือก เมล็ด และรกออกแล้วเท่านั้น

4.1.1.2 ปริมาณสัดส่วนที่ใช้ในการทดสอบต้องมีปริมาณไม่เกิน 1,400 กรัม หรือ 1.4 กิโลกรัม

4.1.2 ตัวแปรตรวจวัด

4.1.2.1 ในการทดลองได้ใช้วัตถุดิบที่มีน้ำหนักทั้งหมด (มะขาม เกลือ พริกป่น) 1,350 กิโลกรัม และเพื่อให้สูญเสียวัตถุดิบน้อยที่สุด หลังจากการทดลอง ต้องได้มะขามที่ผ่านการคลุกเคล้าและตัดจากเครื่องจักรต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 1,100 กิโลกรัม

4.1.2.2 ขนาดมะขามที่ได้ในแต่ละชิ้นต้องมีความยาวไม่เกิน 50 มิลลิเมตรหรือ 5 เซ็นติเมตร

รูปที่ 4-3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

จากการทดลองนำมะขามใส่ถังคลุก สามารถได้เวลาการปฏิบัติงาน และปริมาณที่สามารถผลิตได้ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะรอบว่า 1 รอบการทำงาน หรือต่อวัตถุดิบ 1,350 กรัม เครื่องจักรสามารถผลิตทำมะขามจี๊ดจ๊าดโดยใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 1 นาทีเท่านั้น ซึ่งเวลาสูงสุดในการผลิตจะอยู่ที่ 1 นาที 13 วินาที และเร็วที่สุดที่สามารถผลิตมะขามได้จะอยู่ที่ 58 วินาทีเท่านั้น

รูปที่ 4-4 มะขามจี๊ดจ๊าดที่ได้จากเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

การทดลองครั้งที่	การคลุกและหั่นมะขามจี๊ดจ๊าด ต่อ 1 รอบการทดงานของเครื่อง (กิโลกรัม)	
	เวลา (วินาที)	อัตราการผลิต (กิโลกรัม)
1	58	1.20
2	1.12	1.14
3	1.13	1.12
4	1.02	1.22
5	59	1.21
ค่าเฉลี่ย	1.04	1.17

ซึ่งสามารถบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ได้ทันทีมีเนื้อมะขามทั้งหมดเฉลี่ย 1,170 กรัม ซึ่งถ้าหาก พิจารณาผลผลิตที่นำเข้าเครื่องจักรและผลผลิตที่ได้รับจะมีการสูญเสียวัตถุดิบจากการผลิตเท่ากับร้อยละ 30 จากวัตถุดิบทั้งหมด 1,350 กรัม ซึ่งคาดว่าจะมี พริก เกลือ และเนื้อมะขามบางส่วนที่ติดอยู่ที่เครื่องจักร ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า 1 รอบการทำงานสามารถผลิตมะขามจี๊ดจ๊าด 1 กิโลกรัมโดยใช้เวลาประมาณ 1

นาทีเท่านั้น ซึ่งรวดเร็วกว่าใช้แรงงานคนในการผลิตถึง ซึ่ง 40-50 กิโลกรัมใช้เวลาทั้งหมดในการผลิตเพียง 1-2 ชั่วโมงเท่านั้น (ในกรณีที่แกะเปลือก รก และเมล็ด ออกจากเนื้อมะขามเปรี้ยวแล้ว) ระยะที่ 2 การประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพรูปลักษณ์และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร

ตารางที่ 4-2 ผลลัพธ์การประเมินความคิดเห็นผู้ทดลองใช้งานเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

ประสิทธิภาพ	หัวข้อในการสอบถาม	จำนวนความถี่ของระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		1	2	3	4	5		
การออกแบบ	ลักษณะรูปร่างของเครื่องจักร	0	0	5	3	2	3.7	0.82
	ลักษณะของระบบและกลไกการส่งกำลังมอเตอร์	0	0	1	4	5	4.4	0.70
	ลักษณะของระบบและกลไกการคลุกมะขาม	0	0	4	3	3	3.9	0.88
	ลักษณะของชุดใบมีดการหั่นเนื้อมะขาม	0	0	4	1	5	4.1	0.99
ค่าเฉลี่ย							4.13	0.85
ระบบความปลอดภัย	ระบบควบคุมไฟฟ้า ตำแหน่งสวิตซ์การควบคุมระบบส่งกำลัง	0	0	4	3	3	3.9	0.88
	การป้องกันอันตรายจากการทำงานจากเครื่องจักร	0	0	3	3	4	4.1	0.88
ค่าเฉลี่ย							4.00	0.88
ความสะดวกในด้านการใช้งานและการบำรุงรักษา	การป้อนเนื้อมะขามเข้าเครื่องจักร	0	0	4	1	5	4.1	0.99
	ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม	0	0	4	4	2	3.8	0.79
	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	0	0	7	2	1	3.4	0.70
	ความสะดวกในการทำความสะอาดเครื่องจักร	0	3	3	2	2	3.3	1.16
	การบำรุงรักษาเครื่องจักร	0	1	2	2	5	4.1	1.10
ค่าเฉลี่ย							3.74	0.95

4.2 ผลลัพธ์การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องจักร

หลังจากการทดสอบเครื่องจักรแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเอาเครื่องจักรที่ผ่านการทดสอบพร้อมที่จะทำการถ่ายทอดความรู้และกระบวนการผลิตแบบใหม่ที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นให้แก่กลุ่มวิสาหกิจฯ แต่ก่อนที่จะนำเอาเครื่องจักรต้นแบบไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง ผู้วิจัยต้องทำการแลกเปลี่ยนความรู้ แนวคิดและทำการเก็บข้อมูลความพึงพอใจที่เกี่ยวข้องกับรูปลักษณ์และประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของเครื่องจักร เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเครื่องต้นแบบให้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง และสามารถนำไปต่อยอดในเชิงพานิชเพื่อให้ชุมชนหรือกลุ่มวิสาหกิจอื่นนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย ส่วนประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพรูปลักษณ์และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ได้แบ่งหัวข้อใหญ่ ๆ ออกเป็น 3 หัวข้อได้แก่ การออกแบบ ระบบความปลอดภัย ความสะดวกในด้านการใช้งานและการบำรุงรักษา

ผลจากการประเมินความพึงพอใจพบว่าด้านที่ผู้ประเมินพึงพอใจมากที่สุดคือ ระบบความปลอดภัย ระบบควบคุมไฟฟ้า ตำแหน่งสวิตซ์การควบคุมระบบส่งกำลังที่มีการออกแบบและสร้างให้ใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อนรวมไปถึงมีการคำนึงถึงความปลอดต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยมีสวิตซ์ฉุกเฉินที่สามารถป้องกันเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดได้ และด้านการออกแบบที่มีคะแนนใกล้เคียงกัน จากการสอบถามเพิ่มเติมพบว่า รวมถึงการออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องจักรโดยรวมถูกออกแบบมาได้อย่างเหมาะสม ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้งานได้ไม่ยากนักใบมีดที่สร้างจากสเตนเลสเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทำให้ผู้ประกอบการมีความเชื่อมั่นในเครื่องจักรว่าสะอาดและถูกหลักอนามัย และมีการปิดป้องกันทุกส่วนที่อาจทำอันตรายให้แก่ผู้ประกอบการ

ส่วนข้อที่ควรปรับปรุงคือในด้านการออกแบบเครื่องจักร แม้มีขนาดเล็กแต่ยังมีน้ำหนักมาก ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียวยังเคลื่อนย้ายได้ลำบาก ในด้านประสิทธิผลยังทำได้ไม่ดีนัก ซึ่งสามารถผลิตมะขามได้เพียงร้อยละ 70 ซึ่งของเสียที่เหลือก็ยังติดอยู่ในเครื่องจักรถึงร้อยละ 30 ดังนั้นผู้ออกแบบควรให้ความสำคัญในด้านนี้ด้วย รวมถึงการถอดล้างและการบำรุงเครื่องจักรต้องใช้วิธีการฉีดน้ำล้างเครื่องจากการถอดประกอบล้างยังทำได้ยาก แต่ความเร็วในการปฏิบัติงานทำให้ในแต่ละชั่วโมงสามารถผลิตมะขามจี๊ดจ๊าดได้จำนวนมาก ซึ่งสามารถชดเชยเวลาในการทำความสะอาดได้ แต่โดยภาพรวมแล้วพบว่า คะแนนความพึงพอใจในเครื่องจักรเท่ากับ 3.90 คะแนนซึ่งถ้าหากมีการปรับปรุงเรื่องน้ำหนักให้สามารถใช้งานนอกสถานที่ได้และสามารถถอดล้างได้ง่ายขึ้น ก็จะสามารถนำไปต่อยอดให้เป็นเชิงพานิช เพื่อขยายองค์ความรู้และเทคโนโลยีกระบวนการผลิตแบบใหม่นี้ได้

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะขามจี๊ดจ๊าด โดยการสร้างเครื่องจักรและกรรมวิธีการผลิตที่จะสามารถลดเวลา ลดขั้นตอน และลดจำนวนแรงงาน เพื่อการแก้ปัญหาของการทำมะขามจี๊ดจ๊าด คือขั้นตอนการคลุกและหั่นให้ได้ชิ้นขนาดไม่เกิน 5 เซนติเมตร (เพื่อที่จะใช้ซ่อมขนาดเล็กในการจิ้มเพื่อรับประทานได้) ในส่วนของการคลุกเคล้าเนื้อมะขามจำนวนมาก ต้องคลุกเข้ากับเกลือ พริกและน้ำตาล ต้องใช้เวลานานและแรงงานมากกว่า 2 คนเพื่อจะทำให้เนื้อมะขามคลุกเคล้ากับส่วนผสมอื่นให้เข้ากัน อีกทั้งการหั่นชิ้นขนาดให้ได้มาตรฐานก็สามารถทำได้ยากเช่นเดียวกัน จากเหตุผลข้างต้นทำให้สามารถผลิตมะขามจี๊กจ๊าดได้เพียง 40-50 กิโลกรัม/สัปดาห์ เท่านั้น โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะนำไปสู่การเพิ่มมาตรฐานสะอาดในกรรมวิธีการผลิต นำไปสู่มาตรฐานของสินค้าและผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้น เพิ่มความเชื่อมันในสินค้าของธุรกิจระดับชุมชนให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งรายใหญ่ได้ โดยการดำเนินงานในงานพัฒนากระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ในระยะแรกเป็นการออกแบบเครื่องจักร ในระยะที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร และระยะที่ 3 เป็นการทดสอบเครื่องจักรร่วมกับชุมชนเพื่อข้อบกพร่องที่ได้รับมาจากข้อเสนอแนะและคำแนะนำจากระยะแรกและระยะที่ 2 โดยใช้การประเมินผลลัพธ์จากการประเมินความพึงพอใจของตัวแทนจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการแปรรูปมะขามจี๊ดจ๊าด

เมื่อดำเนินการสร้างเครื่องจักรเสร็จสิ้นแล้วในระยะแรก การทดสอบเครื่องจักรในระยะที่ 2 ได้พบว่ามะขามจี๊ดจ๊าดที่ออกมาจากกระบวนการผลิต สามารถสรุปได้ว่า 1 รอบการทำงานามารถผลิตมะขามจี๊ดจ๊าด 1 กิโลกรัมโดยใช้เวลาประมาณ 1 นาทีเท่านั้น ซึ่งรวดเร็วกว่าใช้แรงงานคนในการผลิตถึงซึ่ง 40-50 กิโลกรัมใช้เวลาทั้งหมดในการผลิตเพียง 1-2 ชั่วโมงเท่านั้น (ในกรณีที่แกะเปลือก รก และเมล็ด ออกจากเนื้อมะขามเปรี้ยวแล้ว) ส่วนการประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการพบว่า โดยภาพรวมแล้วพบว่า คะแนนความพึงพอใจในเครื่องจักรเท่ากับ 3.90 คะแนน ในด้านที่ผู้ประเมินพึงพอใจมากที่สุดคือ ระบบความปลอดภัย ระบบควบคุมไฟฟ้า ตำแหน่งสวิตซ์การควบคุมระบบส่งกำลังที่มีการออกแบบและสร้างให้ใช้งานง่ายและมีการคำนึงถึงความปลอดต่อผู้ปฏิบัติงาน และด้านการออกแบบที่มีคะแนนใกล้เคียงกัน จากการสอบถามเพิ่มเติมพบว่า รวมถึงการออกแบบชิ้นส่วนของ

เครื่องจักรโดยรวมถูกออกแบบมาได้อย่างเหมาะสม ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้งานได้ไม่ยากนัก ส่วนด้านที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจน้อยที่สุดคือการเคลื่อนย้ายและการความสะดวกในการทำความสะอาดเครื่องจักร เนื่องจากทำการถอดประกอบได้ยากถ้าหากไม่มีความรู้พื้นฐานด้านงานช่าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จะห็นได้ว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว สามารถลด เวลา แรงงานและต้นทุนการผลิต รวมถึงมีความสะอาด สะดวก และปลอดภัย ต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้บริโภค เพียงแต่ ถ้าหากมีการปรับปรุงเรื่องน้ำหนักให้สามารถใช้งานนอกสถานที่ได้และสามารถถอดล้างได้ง่ายขึ้น ก็จะสามารถนำไปต่อยอดให้เป็นเชิงพานิช เพื่อขยายองค์ความรู้และเทคโนโลยีกระบวนการผลิตแบบใหม่นี้ให้แก่วิสาหกิจฯ กลุ่มอื่นหรือผู้ที่สนใจทำเทคโนโลยีนี้ไปใช้เพื่อ ความสะอาด ปลอดภัย และความรวดเร็วในการทำงาน เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันและนำไปสู่การยกระดับธุรกิจระดับชุมชนได้

บรรณานุกรม

วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, “**การออกแบบเครื่องจักรกล 1**”, ครั้งที่ 3 ,พศ. 2536, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม.

วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, “**การออกแบบเครื่องจักรกล 2**”, ครั้งที่ 2 , พศ. 2535, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม.

ปาราเมศ ชุติมา.**การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม**. กรุงเทพ: สานักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ เหลืองไพบูลย์ พงศ์ชนัน. **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง**. กรุงเทพ: ท็อป,2551

เว็บไซต์ Thanitha. (2562). **มะขามขัดผิว.** [ระบบออนไลน์]. https://thanitha.com/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%82%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%82%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%9C%E0%B8%B4%E0%B8%A7/วันที่สืบค้น 19 มกราคม 2562

เว็บไซต์พันทิพดอทคอม. (2555). โหวตมะขามจี๊ดจ๊าดในดวงใจ. [ระบบออนไลน์]. http://topicstock.pantip.com/food/topicstock/2012/11/D13004507/D13004507.htmlวันที่สืบค้น 8 ตุลาคม 2557.

เว็บไซต์เดลินิว (2560). การแปรรูปมะขาม. [ระบบออนไลน์]. https://www.dailynews.co.th/article/550481 วันที่สืบค้น 13 ตุลาคม 2561.

เติมศักดิ์ สุขวิบูลย์. (2555). การประเมินความคิดเห็น. [ระบบออนไลน์]. http://www.ms.snc.ku.ac.th/schedule/files/2553/oct/1217086.doc วันที่สืบค้น 8 ตุลาคม 2557.

นันทพล สิทธิสุวรรณ. (2555). วัตถุมีความเร่ง. [ระบบออนไลน์]. http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/10/Motion วันที่สืบค้น 13 มีนาคม 2556.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2552). สเตนเลส. [ระบบออนไลน์]. http://www.sornikhom.com/stainless_knowledge.html วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2556.

บริษัท คอนเวเยอร์ไกด์ จำกัด. (2552). สายพานลำเลียง. [ระบบออนไลน์]. http://www.conveyorguide.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Id=539612000 วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2556.

บริษัท ซายแอนด์ เทคโนโลยี เซอร์วิส จำกัด. (2553). อุปกรณ์ไฟฟ้า. [ระบบออนไลน์].http://www.sci-tech-service.com/ วันที่สืบค้น 15 มีนาคม 2556.

บริษัท ลัคกี้เฟลม จำกัด. (2556). มีด. [ระบบออนไลน์]. http://thinkofliving.com/2013/04/05/kitchen-knife/ วันที่สืบค้น 8 ตุลาคม 2557.

บริษัท เจแปนนิส เอจ จำกัด. (2554). มีดอุตสาหกรรม. [ระบบออนไลน์]. http://www. welovesh opping.com/template/e3/ วันที่สืบค้น 13 มีนาคม 2556.

บริษัท มิซูมิ ไทยแลนด์ จำกัด. (2552). พูเลย์. [ระบบออนไลน์]. http://www.iloveMyshopping.com/th/?workpowersupply&MODULE=m_productdetail&PRODUCT=00011 วันที่ สืบค้น 14 มีนาคม 2556.

บริษัท หลีแซ อิมปอร์ต จำกัด. (2552). การส่งกำลังด้วยสายพาน. [ระบบออนไลน์]. http://www. leesae.com/product_detail.php?id=670 วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2556.

บริษัท เอสพีพี ซัพพลายโปรดักส์ จำกัด. (2552). สายพานส่งกำลัง. [ระบบออนไลน์]. http://www. sppsupply.com/vBelt.html วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2556.

บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด. (2530). 69 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. วิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล. กรุงเทพมหานคร.

ประเวศ ยอดยิ่ง. (2548). เทคนิคการปฏิบัติงานขั้นพื้นฐานงานกลึงเครื่องมือกล. [ระบบออนไลน์]. http://www.mctool.rmuti.ac.th/DATA/speed-feed-machine-tool.pdf วันที่สืบค้น 15 มีนาคม 2556.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. การลดขนาด. [ระบบออนไลน์]. http:// www.202.44.47.77/tam/subjectsbyWASAN/673331FoodProcessingMachinery/ วันที่สืบค้น 15 มกราคม 2557.

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2540). ชิ้นส่วนเครื่องกล. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น. กรุงเทพมหานคร.

มนตรี พิรุณเกษตร. (2553). กลศาสตร์ของวัสดุ. วิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล. กรุงเทพมหานคร.

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2556). วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี.

ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. (2550). มอเตอร์. กรุงเทพมหานคร.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

สำลี แสงห้าว. (2547). ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. กรุงเทพมหานคร. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น เทคโนโลยี.

อำพล บุดดีวงศ์. (2552). เกลียว. [ระบบออนไลน์]. http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=32 วันที่สืบค้น 15 มีนาคม 2556.

ENGENEERING. (2553). การขับด้วยสานพาย. [ระบบออนไลน์]. http://www.thailandindustry .com/guru/view.php?id=9220&section=9&rcount=Y วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2556.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ส่วนประกอบของเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

รูปที่ ก-1 โครงสร้าง

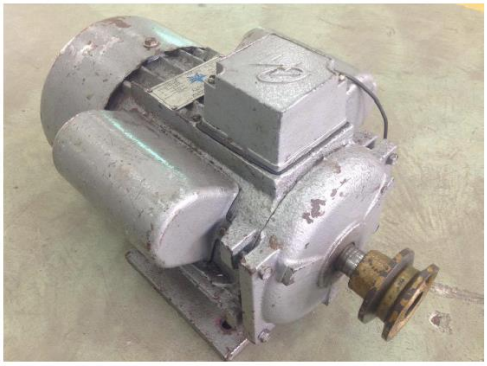
รูปที่ ก-2 ชุดใบมีดหั่นเนื้อมะจาม

รูปที่ ก-3 ใบคลุกมะขาม

รูปที่ ก-4 ถังผสม

รูปที่ ก-5 หวีรองใบมีดแซะเนื้อมะขาม

รูปที่ ก-6 ชุดประคองเพลาใบมีด

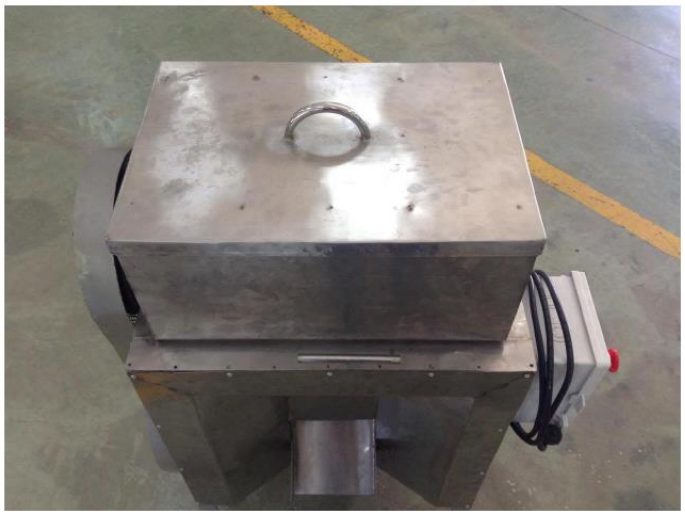


รูปที่ ก-7 มอเตอร์ส่งกำลัง

ภาคผนวก ข
ภาพเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

รูปที่ ข-1 ภาพเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน

รูปที่ ข-2 ภาพเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน (ด้านหน้า)



รูปที่ ข-3 ภาพเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน (ด้านบน)

รูปที่ ข-4 ภาพเครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน (ด้านข้าง)

รูปที่ ข-5 เครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน (ด้านข้าง)

รูปที่ ข-6 เครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน (ด้านหลัง)

ภาคผนวก ค
คู่มือการใช้เครื่องจักร

การใช้เครื่องคลุกมะขามแบบแนวนอน

รูปที่ ค-1 เครื่องคลุกมะขามจี๊ดจ๊าดแบบแนวนอน (ด้านหลัง)

ก่อนการใช้งานเครื่องคลุกมะขามแบบแนวนอนควรตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่อง คลุกมะขามแบบแนวนอนก่อนการใช้งานทุกครั้ง และในการทำงานของเครื่องคลุกมะขามแบบ แนวนอนจะมีหลักการทำงาน 1 ระบบคือ ควบคุมด้วยมือ (Manual) โดยมีขั้นตอนการใช้เครื่องคลุก มะขามแบบแนวนอนดังต่อไปนี้

คู่มือการใช้เครื่องคลุกมะขามแบบแนวนอน

1. ยกเบรกเกอร์ขึ้น (ON) และหลอดไฟแสดงสถานะสีแดงจะติด
2. เช็คเครื่องหยอดน้ำมันโซ่ สเตอร์
3. เปิดฝาด้านบนแล้วนำมะขามใส่ลงไปในถังคลุก

4. นำน้ำตาลทราย เกลือและพริกปุ่น เทลงในถังคลุกมะขาม

5. ปิดฝาและทำการกดสวิตซ์สีเขียวเพื่อเริ่มการคลุกเคล้ามะขามให้เข้ากับส่วนผสมต่างๆ

6. เมื่อส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดีแล้ว จึงทำการเปิดฝาด้านล่างของถังคลุกมะขาม เพื่อทำ การนั่นมะขามให้เป็นชิ้นโดยที่ไม่ต้องหยุดเครื่อง

7. เมื่อมะขามได้ผ่านการนั่นจนหมดแล้ว ให้กดสวิตซ์สีแดงเพื่อหยุดการทำงาน

8. เมื่อต้องการหยุดเครื่องหรือสิ้นสุดการทำงาน กดปุ่มสีแดงเครื่องจะหยุดการทำงาน และยกเบรกเกอร์ลง (OFF) เป็นการปิดเครื่อง

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นายวิทยา หนูช่างสิงห์
Mr. Wittaya_Nuchangsing
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ข้าราชการ สายวิชาการ (อาจารย์)
4. ตำแหน่งทางวิชาการ -
5. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1608
_992000@yahoo.com
6. ประวัติการศึกษา
วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการ)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ค.อ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
.7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
-
8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

-- การพัฒนาประสิทธิภาพชุดจับเพื่อลำเลียงแล่เนื้อปลา, ทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ๒๕๕๓

- กังหันลมปั๊มน้ำเทคโนโลยีพลังงานทดแทนตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง, ทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ๒๕๕๓

- การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบแยกเนื้อมะขามหวาน. ทุน IRPUS (๒๕๕๒)

- เครื่องฝานขนุน. รางวัลรองชนะเลิศอันดับ ๑ IRPUS Popular Vote สาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี TIA ครั้งที่ ๗ (๒๕๕๐)

- การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องแล่เนื้อปลาลำตัวแบนด้วยมีดเดี่ยววางตัว. ทุน IRPUS (๒๕๕๑)

- การพัฒนาเครื่องกรอกข้าวหลาม-ปลอกข้าวหลาม. ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันไทย-เยอรมัน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

งานวิจัยที่มีการเผยแพร่:

- วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง และ ขวัญนิธิ คำเมือง (๓๐-๓๑ ตุลาคม ๒๕๕๗) การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกะเทาะเปลือกมะขาม สมุทรปราการ, ประเทศไทย: การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ

1. การพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดออกจากเนื้อมะขามหวานสำหรับใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ประกอบการแปรรูปมะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์เสนอขอทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 2558

ประวัติคณะผู้วิจัย (ต่อ)

1. ชื่อ-นามสกุล นายธนภัทร มะณีแสง
   Mr. Thanapat Maneesaeng
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำพิเศษ
4. ตำแหน่งทางวิชาการ -
5. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร
   มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000
   โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1608
6. ประวัติการศึกษา
   วศ.ม.(วิศวกรรมการจัดการ)
   มหาวิทยาลัยนเรศวร
   วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกการ)
   มหาวิทยาลัยนเรศวร
.7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   การวิจัยดำเนินการ
   การจำลองสถานการณ์
   เมตาฮิวริสติกส์
8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

- ธนภัทร มะณีแสง และ ขวัญนิธิ คำเมือง. (2555). การแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่องเชิงพลวัตโดยใช้เมตาฮิวริสติกส์. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ฉบับวิทย์และเทคโนโลยี , 4(1), 57-66.

- ธนภัทร มะณีแสง และ ขวัญนิธิ คำเมือง (11-14 กันยายน 2556). แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับวางแผนการผลิตน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ. นครราชสีมา, ประเทศไทย : การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ

- ธนภัทร มะณีแสง และ ขวัญนิธิ คำเมือง (16-20 ตุลาคม 2556) แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่องเชิงพลวัต. ชลบุรี, ประเทศไทย : การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ

- วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง และ ขวัญนิธิ คำเมือง (30-31 ตุลาคม 2557) การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกะเทาะเปลือกมะขาม สมุทรปราการ, ประเทศไทย: การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ

- ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ เอราวัณ ชาญพหล และ ธนภัทร มะณีแสง (14 กุมภาพันธ์ 2556) การออกแบบและพัฒนาเครื่องกรอกน้ำจิ้ม. เพชรบูรณ์ . ประเทศไทย : ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 1 "งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น"

- การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอลิทึม ทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 2558