ผลของลักษณะใบมีดต่อการขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก

วิทยานิพนธ์

ของ

ปิ่นมณี บัวศรี

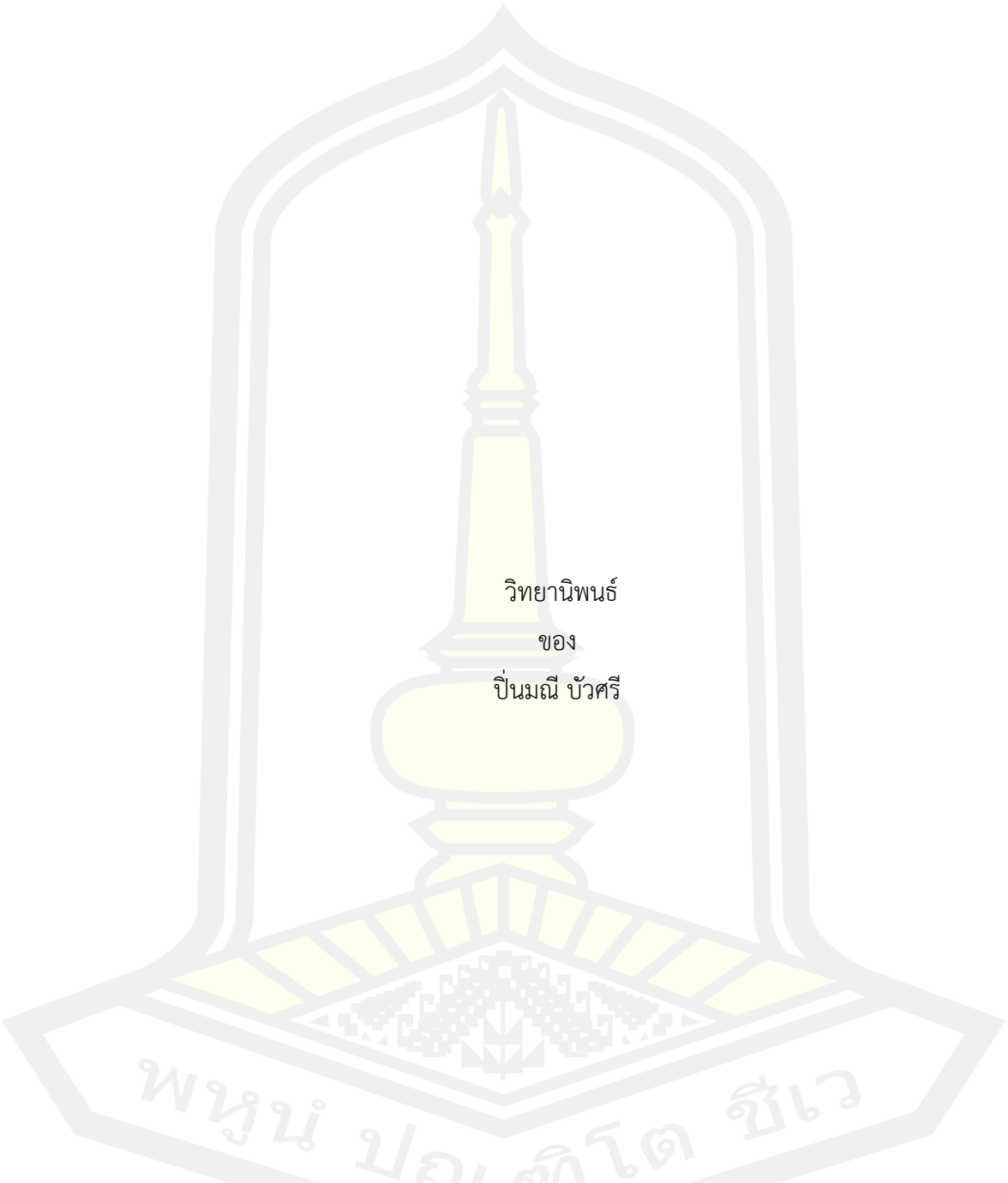
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มกราคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลของลักษณะใบมีดต่อการขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก



วิทยานิพนธ์

ของ

ปิ่นมณี บัวศรี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มกราคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Effect of Cutting Blade Geometry on Forming Rice Mixed with Konjac Flour

Pinmanee Buasri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

January 2022

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวปิ่นมณี บัวศรี แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. ดลฤดี ใจสุทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. ละมุล วิเศษ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ. ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด)

.....กรรมการ
(รศ. ดร. บพิธ บุปผโชติ)

.....กรรมการ
(รศ. ดร. วสันต์ ด้วงคำจันทร์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)	(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ผลของลักษณะใบมีดต่อการขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก
ผู้วิจัย ปิ่นมณี บัวศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ละมุล วิเศษ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1) ศึกษาลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุกออกแบบลักษณะใบมีดตัด 3 รูปแบบ ได้แก่ ใบมีดตัดโค้งหน้า ใบมีดตัดโค้งหลัง และใบมีดตัดตรง การทดลองที่ 2) ศึกษามุมของใบมีดตัด โดยศึกษามุมของคมตัดที่ 30 45 และ 60 องศา การทดลองที่ 3) ศึกษาความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก ที่ 135 145 155 และ 165 รอบ/นาที และการทดลองที่ 4) วิเคราะห์คุณภาพของข้าวขึ้นรูป พบว่าใบมีดตัดโค้งหลังสามารถตัดท่อนแป้งได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกที่มีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด ที่มุมของคมตัด 30 องศา สามารถตัดท่อนแป้งได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกที่มีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด คือ 34.26 กรัม/นาที สำหรับความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 145 รอบ/นาที สามารถผลิตเม็ดข้าวบุกมีรูปทรงสมบูรณ์มากที่สุด คือ 39.80 กรัม/นาที ทำการวิเคราะห์คุณภาพข้าวขึ้นรูปเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง พบว่าค่าสี L* a* b* ของข้าวผสมแป้งบุกและข้าวกล้องไม่แตกต่างกันทางสถิติ ข้าวผสมแป้งบุกหลังการหุงสุกค่าความแข็งและความเหนียวต่ำกว่าข้าวกล้อง เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ หากขายผลิตภัณฑ์ ในราคา 400 บาทต่อ 1 กิโลกรัม เมื่อกำหนดอายุโครงการ 5 ปี จะได้ร้อยละอัตราผลตอบแทนเท่ากับ 18

คำสำคัญ : ข้าวผสมแป้งบุก, ขึ้นรูป, ใบมีดตัด

TITLE Effect of Cutting Blade Geometry on Forming Rice Mixed with Konjac Flour

AUTHOR Pinmanee Buasri

ADVISORS Assistant Professor Lamul Wiset , Ph.D.

Assistant Professor Nattapol Poomsa-ad , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Mechanical Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2022

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop a machine to produce a forming rice mixed with konjac flour. This study was divided into four experiments. Firstly, the study was concerned with the characteristics of knife edge for cutting rice mixed with konjac flour. Three characteristics of the knife edge were studied: (1) a front curve of the knife edge, (2) a back curve of the knife edge, and (3) a straight shape of the knife edge. Secondly, the angle of the blade were examined, i.e. angles of 30, 45, and 60 degrees. Thirdly, different blade speeds were examined, i.e. 135, 145, 155 and 165 rpm. Lastly, analysis of the quality of rice mixed with konjac flour. The results showed that a backward curvature of the blade edge with an angle of 30 degrees can cut the flour piece to obtain the completely shape grain as rice with the maximum amount of 34.26 g/min. At a motor speed of 145 rpm, the completely konjac-rice shape can be produced with the maximum amount of 39.80 g/min. The analysis of the quality of konjac-rice was compared with brown rice. The results showed that the color values L* a* b* were not significantly difference. Hardness and stickiness of konjac-rice after cooking were lower than brown rice. For economic analysis, if the product is sold at 400 baht per 1 kilogram when the project life is fixed at 5 years, the internal rate of return will be 18%.

Keyword : rice mixed with konjac flour, forming, blade

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ประสบความสำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ละมุล วิเศษ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด ที่ให้ทั้งความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่อันเป็นความรู้จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ ตามวัตถุประสงค์ด้วยดี

ปิ่นมณี บัวศรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูปภาพ ..... ฐ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 ภูมิหลัง 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 สถานที่ดำเนินงาน 3
1.7 นิยามศัพท์ 3
บทที่ 2 4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 บุกไข่ 4
2.1.1 สารกลูโคแมนแนน 5
2.1.2 การใช้กลูโคแมนแนนในอาหาร 6
2.1.3 การแปรรูปบุก 6

2.2 ขนาดของเมล็ดข้าว (Grain size) 7
2.3 กระบวนการขึ้นรูป 9
2.4 หลักการทำงานของเอ็กซ์ทรูเดอร์ 9
2.5 หลักการพื้นฐานในการตัด 9
2.5.1 คุณลักษณะของมีดตัด 10
2.5.2 การตัดใบมีดคมเดียว (Single Edge Orthogonal Cutting) 10
2.5.3 แรงในการตัดวัสดุ (Cutting Force) 11
2.6 คุณสมบัติของมีดตัด 12
2.7 อายุการใช้งานของมีดตัด 13
2.7.1 หน่วยวัดอายุการใช้งาน 13
2.7.2 เกณฑ์ตัดสินว่ามีดหมดอายุ 14
2.8 การวัดค่าสี 14
2.9 สมบัติทางเนื้อสัมผัส (Texture properties) 15
2.10 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน 16
2.11 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน (Rate of return analysis) 18
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
2.12.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำสารกลูโคแมนแนนไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ 19
2.12.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาใบมีดตัด 20
บทที่ 3 23
วิธีดำเนินการวิจัย 23
3.1 เครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก 23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 23
3.3 วัตถุดิบ 24
3.4 การออกแบบการทดลอง 25

3.5 การเตรียมผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสม 25
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 26
3.7 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตข้าวบุกจากสภาวะที่ดีที่สุด 29
3.8 วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของการขายผลิตภัณฑ์ข้าวผสมแป้งบุก 30
บทที่ 4 32
ผลการทดลอง 32
4.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก 32
4.2 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษามุมของใบตัด 36
4.3 ผลการทดลองที่ 3 ศึกษาความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก 38
4.4 ผลการทดลองที่ 4 ศึกษาคุณภาพข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก 40
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี 40
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งและค่าความเหนียว 41
4.5 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 42
บทที่ 5 46
สรุปผลการทดลอง 46
5.1 ลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก 46
5.2 มุมของใบตัด 46
5.3 ความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก 46
5.4 คุณภาพข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก 46
5.5 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 47
บรรณานุกรม 47
ภาคผนวก ก 51
ภาคผนวก ข 60
ประวัติผู้เขียน 64

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ขนาดของเมล็ดข้าว 7
ตารางที่ 2 รูปร่างเมล็ดข้าว 8
ตารางที่ 3 ผลของลักษณะใบมีดตัดต่อกำลังการผลิต 33
ตารางที่ 4 ผลของมุมคมตัดของใบมีดโค้งหลังต่อกำลังการผลิต 37
ตารางที่ 5 ผลของการปรับเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัดต่อกำลังการผลิต 39
ตารางที่ 6 ค่าสี L* a* b* C และ hue angle 40
ตารางที่ 7 ค่าความแข็งและความเหนียว 42
ตารางที่ 8 ต้นทุนแปรผันในการขึ้นรูปข้าวแต่ละวัน 43
ตารางที่ 9 รายได้จากการขายและราคาขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกระยะเวลา 1 ปี 43
ตารางที่ 10 กำไรสุทธิในแต่ละปี 44
ตารางที่ 11 ระยะเวลาคืนทุนในการขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกราคาต่าง ๆ 44
ตารางที่ 12 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) ของรายได้จากการขายของราคาต่าง ๆ 45

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ลักษณะของบุก (konjac) 4
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างทางเคมีของกลูโคส 5
ภาพประกอบ 3 ขนาดของเมล็ดข้าว 8
ภาพประกอบ 4 รูปร่างของเมล็ดข้าว 8
ภาพประกอบ 5 แสดงสภาวะการเกิดขึ้นของมีดตัดฉากใบมีดเดียว 10
ภาพประกอบ 6 ค่าสีในระบบ CIE L* a* b* 15
ภาพประกอบ 7 เครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก 23
ภาพประกอบ 8 ส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก 24
ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก 25
ภาพประกอบ 10 ลักษณะใบมีดแบบต่าง ๆ 26
ภาพประกอบ 11 แผนผังกระบวนการผลิตการขึ้นรูปเม็ดข้าวบุก 29
ภาพประกอบ 12 ลักษณะใบมีดตัด 32
ภาพประกอบ 13 ลักษณะเม็ดข้าวบุกที่ตัดด้วยใบมีดแบบต่าง ๆ 35
ภาพประกอบ 14 ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกและข้าวกล้อง 41
ภาพประกอบ 15 ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกหลังการหุงสุก 41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

การนำบุกมาใช้ประโยชน์เนื่องจากมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ กลูโคแมนแนน (glucomannan) ซึ่งเป็นใยอาหารที่มีคุณสมบัติช่วยลดและป้องกันการเกิดโรคในร่างกายหลายประการ ช่วยควบคุมน้ำหนักเพราะเส้นใยอาหารร่างกายไม่สามารถย่อยได้ จึงไม่ให้พลังงานทำให้อิ่มเร็วและอิ่มนาน ช่วยลดความอ้วนโดยเส้นใยจะทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลและไขมันบางส่วนที่มากเกินไปจนมีโมเลกุลใหญ่ขึ้นไม่สามารถย่อยได้ง่ายจึงไม่ดูดซึมเข้าไปเก็บสะสม (ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, 2530) จากสมบัติหลายประการที่กล่าวมาทำให้กลูโคแมนแนนจากบุกมีความน่าสนใจในอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำผงบุกไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เช่น เส้นบุกกึ่งสำเร็จรูป เยลลี่บุก ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากบุก เป็นต้น ซึ่งช่วยเพิ่มเส้นใยอาหารที่มีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์แปรรูป จึงได้นำบุกมาแปรรูปผสมกับแป้งเพื่อขึ้นรูปข้าวบุก ให้รับประทานได้ง่ายขึ้น และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค (ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ, 2559)

ข้าวบุกเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้รักสุขภาพ การผลิตข้าวบุกทำได้โดยการใช้ผงบุกผสมข้าวกล้อง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาขึ้นรูปให้มีลักษณะเหมือนเมล็ดข้าว โดย ใช้เครื่องขึ้นรูปข้าว ซึ่งมีหลักการทำงาน คือการอัดแป้งด้วยหลักการเอ็กซ์ทรูเดอร์ให้แป้งออกมาเป็นเส้นและถูกตัดให้เป็นท่อน ด้วยใบมีดตัดและท่อนแป้งจะหล่นลงไปยังกระบวนการรีดและตัดขึ้นรูป (กำพล หล่มวงศ์และธวัชชัย จิตเกษมสกุล, 2562) จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพและกำลังการผลิตข้าวบุก เช่น ลักษณะใบมีดตัด ความเร็วสกรูลำเลียง ความเร็วใบมีด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อปริมาณเม็ดข้าวบุกที่ได้ รูปทรงเม็ดไม่สมบูรณ์และแป้งที่ไม่ผ่านการรีด (แป้งที่หล่นข้างหลังชุดลูกรีด) ทำให้ได้ปริมาณการผลิตข้าวบุกน้อย และศึกษาคุณภาพเม็ดข้าวบุกหลังการอบแห้ง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก โดยศึกษาลักษณะใบมีดตัด ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดท่อนแป้งของใบมีดตัด ความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด เพื่อให้ได้ท่อนแป้งที่เหมาะสมสามารถรีดออกมามีลักษณะคล้ายเมล็ดข้าวสาร และเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

1.2.2 เพื่อศึกษามุมของคมตัด

1.2.3 เพื่อศึกษาความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณภาพของแป้งผสมบุกหลังการอบแห้ง

1.2.5 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวบุกโดยการหาลักษณะใบมีดตัด มุมของคมตัด ความเร็วของใบมีดตัด สามารถเพิ่มกำลังการผลิตและได้ข้าวบุกที่มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น และหลังการอบแห้งส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาคของสี ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของเม็ดข้าวบุก

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ลักษณะใบมีดตัด 3 แบบ ได้แก่ ใบมีดตัดโค้งหน้า ใบมีดตัดโค้งหลัง และใบมีดตัดตรง

1.4.2 มุมของใบมีด ที่ 30 45 และ 60 องศา

1.4.3 ความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 4 ระดับ ได้แก่ 135 145 155 และ 165 รอบ/นาที

1.4.4 ใบมีดตัดทำจากวัสดุเทฟลอน

1.4.5 ความเร็วรอบของมอเตอร์ลูกรีด 300 รอบ/นาที (65 Hz)

1.4.6 ความเร็วรอบของสกรูลำเลียง 6.63 6.97 7.65 รอบ/นาที

1.4.7 ระยะห่างผิวสัมผัสของลูกรีด คู่บน 3 มิลลิเมตร คู่กลาง 1 มิลลิเมตร

1.4.8 จำนวนรูของหัวดายย์ 6 รู ขนาดรูมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมบุก

1.5.2 ทราบถึงคุณภาพของแป้งผสมบุกหลังการอบแห้ง

1.5.3 ทราบถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.6 สถานที่ดำเนินงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 บุก หมายถึง พืชในตระกูลเดียวกันกับบอน (Araceae) เป็นไม้ล้มลุก ลำต้นอวบ ไม่มีแก่น สูง 3 – 6 ฟุต มีดอกสีม่วงเหมือนดอกหน้าวัว นิยมรับประทานส่วนหัวของบุกเพราะมีสารสำคัญตัวหนึ่งซึ่งเรียกว่า กลูโคแมนแนนเป็นคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งชนิดหนึ่ง

1.7.2 ข้าวบุก หมายถึง การใช้ผงบุกผสมกับแป้ง นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาขึ้นรูปให้มีลักษณะคล้ายเมล็ดข้าว จะเรียกว่า “เม็ดข้าวบุก”

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บุกไข่

(ที่มา : ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, 2556)

ภาพประกอบ 1 ลักษณะของบุก (konjac)

บุกไข่ เป็นพืชหัวอยู่ในวงศ์ Araceae มีชื่อสามัญ Elephant foot yam มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบประเทศอินโดจีน ได้แก่ ประเทศลาว เขมร เวียดนาม พม่า ไทย อินโดนีเซีย และจีน เป็นต้น โดยจะพบขึ้นอยู่ทั่วไปตามบริเวณที่เป็นป่าชื้น (ชัยฤกษ์ สงวนทรัพยากร, 2530)

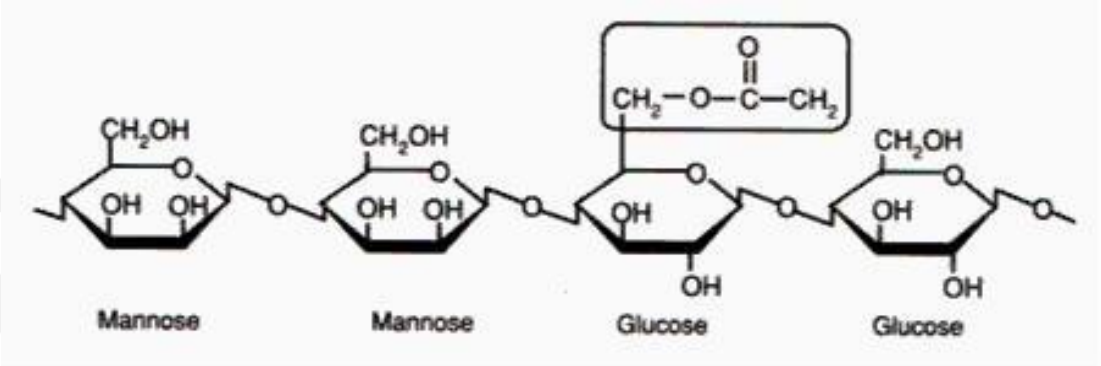
บุกเป็นพืชหัวล้มลุก ซึ่งมีวงจรชีวิตแตกต่างจากพืชอื่น คือ มีช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นต่างปีกับที่เจริญเติบโตเป็นดอก บุกไข่ที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติจะเริ่มงอกจากหัวใต้ดินในช่วงต้นฤดูฝนประมาณเดือนพฤษภาคม และจะเจริญเติบโตตลอดฤดูฝนเมื่อเข้าฤดูแล้งประมาณเดือนตุลาคมต้นบุกที่เหี่ยวเฉาและแห้งตาย และจะพักตัวเพื่อเจริญเติบโตต่อไปในฤดูใหม่เป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดไป (ชูสิทธิ์ หงส์กุลทรัพย์, 2549) บุกส่วนใหญ่มีช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นเพียงอย่างเดียวนาน 4-6 ปี จึงเข้าสู่ช่วงของการออกดอก บุก บางชนิดมีดอกเพียงปีเดียวแต่สามารถมีดอกติดต่อกันได้หลายปี

แล้วจึงกลับมามีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นอีกครั้งหนึ่ง บุกที่มีดอกส่วนใหญ่จะไม่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น

2.1.1 สารกลูโคแมนแนน

จากการวิจัยทางชีวเคมีเกี่ยวกับเส้นใยในหัวบุกพบว่า เป็นสารแมนแนน 2 ชนิด คือ แมนแนน A และ แมนแนน B เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลบางช่วงเป็น น้ำตาลกำแลกโตส (galactose) แต่มีน้อยกว่าน้ำตาลแมนโนส (mannose) โดยแมนแนน A มีน้ำตาลแมนโนส 10-13 หน่วย และในแมนแนน B มี 38-40 หน่วย จึงมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าเรียกวุ้นแมนแนนที่ได้จากหัวบุกว่าวุ้นคอนยัค (konjacmannan) แต่เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีแตกต่างจากวุ้นกาแลกโตสที่ได้จากน้ำตาลกลูโคส (glucose) และแมนโนส จึงเรียกชื่อใหม่ว่า กลูโคแมนแนน เป็นสารวุ้นที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อรับประทานเข้าไปในร่างกายแล้วจะไม่ย่อยและดูดซึมแต่จะทำหน้าที่เป็นใยอาหารซึ่งมีประโยชน์ในการทำความสะอาดลำไส้ แตกต่างจากวุ้นกาแลกโตสที่ได้จากเมล็ดพืชหรือวุ้นคาราจีแนนที่ได้จาก สาหร่ายทะเล ซึ่งเป็นแป้งอะไมโลส และอะไมโลเพกตินที่มีสูตรโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส

บุกไข่หรือบุกเนื้อทราย มีปริมาณกลูโคแมนแนน 50-70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักหัวแห้ง ซึ่งอยู่ใน ระดับที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้ (Matsuda, 1969) ดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างทางเคมีของกลูโคส

2.1.2 การใช้กลูโคแมนแนนในอาหาร

กลูโคแมนแนนนำไปใช้เพื่อเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) มีหน้าที่ดังนี้

1) สารทำให้เกิดเจล (gelling agent)

2) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier)

3) สารให้ความข้นหนืด (thickening agent)

4) สารทำให้เกิดฟิล์ม (film forming agent)

5) สารทำให้คงตัว (stabilizing agent)

6) เป็นแหล่งของใยอาหาร (dietary fiber) ที่ละลายได้ในน้ำ

กลูโคแมนแนนนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลาย เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery) เครื่องดื่มผลิตภัณฑ์นม ลูกกวาด และขนมหวาน ซ๊อส น้ำสลัด ซุป และน้ำเกรวี่ อาหารขบเคี้ยว อาหารแช่เยือกแข็ง หรือแช่เย็น และผลิตภัณฑ์อื่นๆ พบว่าในประเทศญี่ปุ่นมีการนำกลูโคแมนแนนมาใช้ร่วมกับแคปปา-คาราจีแนน ไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมเยลลี่เนื่องจากให้เจลที่มีความยืดหยุ่นสูง

2.1.3 การแปรรูปบุก

บุก เป็นพืชที่มีศักยภาพสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี หรือเทคโนโลยีชีวภาพ ประเทศไทยเป็นประเทศที่ได้เปรียบที่มีวัตถุดิบบุกสายพันธุ์ดี มีปริมาณสารกลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นสารสำคัญในปริมาณที่สูง และคุณภาพดี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ด้านอุตสาหกรรมอาหาร มีการใช้บุกเพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความข้นหนืดและความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชั่น เช่น ไอศกรีม วิปปิ้ง ครีม เนยแข็งหลายชนิด มีการใช้บุกทดแทนสารอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันในการผลิต ไอศกรีมเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ผงบุกยังมีความสามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับด่าง หรือไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) บางชนิด ปัจจุบันจึงมีการนำคาราจีแนน แซนแทนกัม และผงบุกมาเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ แยมและเจลลี่ ผงบุกยังถูกนำมาใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น เจลาติน คาราจีแนน ซึ่งจะได้เจลที่ยืดหยุ่น นิ่ม สามารถสไลด์ได้ง่าย เพิ่มปริมาณเนื้อต่อน้ำหนัก ทำให้สามารถลดปริมาณเนื้อที่ใช้โดยไม่เปลี่ยนรสชาติ สามารถคงสภาพหลังเก็บใน อุณหภูมิต่ำในช่องแช่เย็นโดยไม่เปลี่ยนรสชาติและไม่แข็งตัวเป็นก้อน รวมทั้งใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์สูตรลดไขมันและไขมันต่ำ เช่น แฮม ไส้กรอก (Jimenez-Colmenero et al., 2013) ลูกชิ้นเนื้อมีทโลฟ (meat loaves) เนื้อปลาบดแปรรูป (surimi) เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพิ่มความแข็งแรงของเจล ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหาร

และช่วยเพิ่มสมบัติในการอุ้มน้ำและเก็บรักษาความชื้นให้กับอาหารให้ดีขึ้น รวมทั้งยังเป็นการเสริมใยอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ด้วย

2) ด้านเคมีภัณฑ์ มีการใช้ผงบุกมาผลิตเป็นวัสดุเคลือบ เช่น ใช้เป็นสารเคลือบผลไม้โดยใช้ร่วมกับกลีเซอรอล glycerol) และโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH) พบว่าสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักความแน่นเนื้อ ลดอัตราการหายใจ และอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนในชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ได้ (ชูสิทธิ์ หงส์กุลทรัพย์, 2549)

3) ด้านเภสัชกรรม มีการใช้ผงบุกมาเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตยา โดยทำหน้าที่ห่อหุ้มและปกป้องตัวยาให้ไปถึงยังอวัยวะเป้าหมายได้ เนื่องจากสมบัติการเป็นเจลที่ทนความร้อนและสภาวะต่างๆ ได้ดี (Wu and hong 206, Shi et al., 206, Lu et d., 2015)

4) ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ มีการใช้บุกในการตรึงและห่อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์ เอนไซม์ และสารชีวโมเลกุลที่ไม่ทนความร้อน เนื่องจากสมบัติการทนความร้อนของเจลบุก (Wang et al., 2008, Wen et al., 2008)

2.2 ขนาดของเมล็ดข้าว (Grain size)

ขนาดของเมล็ดวัดจาก ความยาว กว้าง หนาของเมล็ด แต่ในการพิจารณาคุณภาพเมล็ดทั่วไปจะหมายถึงความยาวของเมล็ด มาตรฐานข้าวไทยกำหนดชั้นของเมล็ดเป็น 4 ขนาด เช่นเดียวกับมาตรฐานกำหนดชั้นของเมล็ดของสหรัฐอเมริกา (มาตรฐานสินค้าข้าวไทย, 2555) แสดงดังภาพประกอบ 3 แต่มีขนาดแตกต่างกัน ชั้นของเมล็ดข้าวตามมาตรฐานข้าวไทยและสหรัฐอเมริกาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดของเมล็ดข้าว

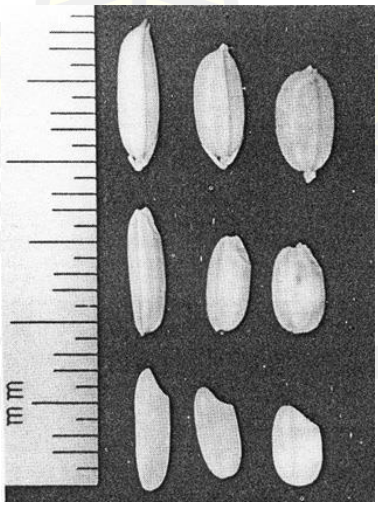
ชั้นของเมล็ด	ไทย (มิลลิเมตร)	สหรัฐอเมริกา (มิลลิเมตร)
เมล็ดยาวชั้น 1 (Extra long)	>7.0	>7.50
เมล็ดยาวชั้น 2 (Long)	6.6-7.0	6.61-7.50
เมล็ดยาวชั้น 3 (Medium)	6.2-6.6	5.51-6.60
เมล็ดสั้น (Short)	<6.2	<5.50

ภาพประกอบ 3 ขนาดของเมล็ดข้าว

รูปร่างเมล็ดเรียว (Slender) ปานกลาง (Medium) และป้อม (Bold) แสดงดังภาพประกอบ 4 ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปร่างเมล็ดข้าว

รูปร่างเมล็ด	ความยาว/ความกว้าง
เรียว (Slender)	มากกว่า 3.0
ปานกลาง (Medium)	2.0-3.0
ป้อม (Bold)	น้อยกว่า 2.0



ภาพประกอบ 4 รูปร่างของเมล็ดข้าว

2.3 กระบวนการขึ้นรูป

กระบวนการขึ้นรูปพื้นฐาน หมายถึง กระบวนการพื้นฐานในการแปรรูปวัสดุให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มีน้อยมากที่จะสามารถผลิตโดยใช้กระบวนการเดียว ส่วนมากจะเกิดจากการผสมผสานระหว่างกระบวนการต่าง ๆ ตามลักษณะของการออกแบบ ความต้องการ รูปทรง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ เหล่านั้นก็จะมีข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไปในการออกแบบรูปทรงของผลิตภัณฑ์

2.4 หลักการทำงานของเอ็กซ์ทรูเดอร์

เอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder) เป็นเครื่องจักรที่ใช้เพื่อการแปรรูปอาหารด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ได้แก่ บาเรล (barrel) เกลียว (screw) ดายย์ (die) ใบมีดตัด (face cutter)

บาเรล เป็นทรงกระบอกกลวงที่วางตัวตามแนวนอน ภายในมีสกรู (screw) ซึ่งจะถูกหมุนด้วยมอเตอร์ที่ปรับความเร็วรอบได้ อาจเป็นสกรูเดี่ยว (single screw extruder) หรือเกลียวคู่ (twin screw extruder) โดยสกรูลำเลียงจะทำหน้าที่ลำเลียงวัตถุดิบป้อนเข้าสู่ภายใน และจะถูกคลุกเคล้าให้ผสมกันในช่องว่างระหว่างครีบกวาดกับกระบอก เมื่ออาหารลำเลียงมาถึงช่วงที่ระยะครีบกวาดสั้นลงจะถูกบีบให้เคลื่อนที่อยู่ในที่ว่างลดลง ทำให้เกิดแรงเฉือน (shear force) ระหว่างวัตถุดิบเอง และระหว่างวัตถุดิบกับพื้นผิวของกระบอกและสกรู เกิดการนวดให้ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่ออาหารถูกลำเลียงมาถึงปลายสกรู ถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดเล็ก ๆ ที่เรียกว่ารูพิมพ์ (die) ซึ่งอยู่ด้านทางออก อาหารที่ออกมาจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เรียกว่าเอ็กซ์ทรูเดต (extrudate) มีรูปร่างที่แตกต่างกันตามขนาดและรูปร่างของรูพิมพ์ และมีใบมีดตัดให้เป็นเม็ด เป็นท่อน หรือเป็นเส้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2552)

2.5 หลักการพื้นฐานในการตัด

หลักการพื้นฐานในการตัด คือ การใช้ใบมีดที่มีความแข็งแรงสูงกดลงชิ้นงานที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า เนื้อชิ้นงานจะเกิดสามของความเค้น เมื่อลากคมมีดผ่านเนื้อชิ้นงานค่าความเค้น ในระนาบหนึ่งบนเนื้อชิ้นงานจะมีค่าที่สูงเท่ากับหรือมากกว่าความต้านการเฉือนของเนื้อวัสดุ ชิ้นงานเป็นผลให้เกิดการเฉือนของเนื้อชิ้นงาน ชิ้นงานจะแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก คือชิ้นงานที่จะนำไปใช้งาน ส่วนที่สอง คือส่วนที่แยกออกมาเป็นลักษณะเส้นยาว ๆ หรือ ท่อนสั้น ๆ เรียกว่า ฝอย (ศุภโชค วิริยโกศล, 2542)

2.5.1 คุณลักษณะของมีดตัด

มีดตัด คือ เครื่องมือที่ใช้ผ่าลงไปในชิ้นงาน เพื่อแบ่งชิ้นงานออกเป็นสองส่วน สิ่งที่ ควรศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับมีดตัดมี 3 สิ่ง ดังนี้

1) วัสดุที่ทำใบมีด (cutting tool material)

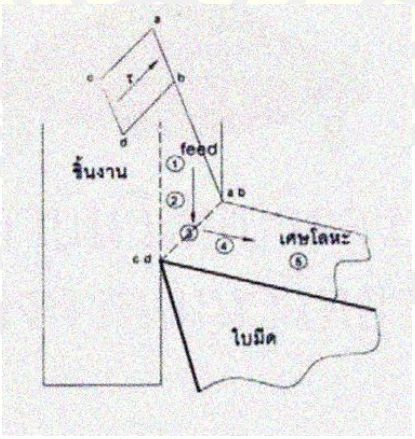
2) ลักษณะทางเรขาคณิตของมีดตัด (cutting tool geometry)

3) สมรรถนะของมีดตัด หรือขีดความสามารถในการใช้งานของใบมีด (cutting tool performance)

2.5.2 การตัดใบมีดคมเดียว (Single Edge Orthogonal Cutting)

การตัดฉากโดยใบมีดคมเดียวเป็นกรณีที่ง่ายที่สุดในการตัด และมีนักวิจัยจำนวนมาก ทุ่มเทค้นคว้าศึกษาวิธีนี้ โดยหวังว่าจะนำความเข้าใจที่ได้จากการตัดแบบนี้ ไปเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจกรรมวิธีการตัดแบบอื่น ๆ ที่ซับซ้อนมากกว่านี้อย่างไรก็ตาม ได้พบว่าการตัดใบมีดตัดคมเดียว ซึ่งนับว่าง่ายที่สุดแล้วก็ยังไม่สามารถทำความเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุได้อย่างครบถ้วน ยังต้องมีการค้นคว้าต่อไปอีกมาก ในขณะเดียวกันก็มีความจำเป็นที่ต้องนำความรู้เท่าที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้งาน

แนวทางที่มีผู้ศึกษาไว้มีหลายแนวทางจึงจำเป็นต้องคัดเลือกเฉพาะแนวทางที่เข้าใจง่าย และเป็นแนวทางที่นักวิจัยโดยทั่วไปยอมรับ แนวทางที่เข้าใจง่ายที่นำมาพิจารณา คือแนวทางแบบระนาบเฉือนบาง (thin shear plane concept) ซึ่งตั้งสมมุติฐานที่ว่าการตัดวัสดุโดยทั่วไปเนื้อชิ้นงาน (work material) จะถูกตัดเฉือนออกมาเป็นฝอย (chip) การแปรรูปเนื้อชิ้นงานจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรงบนแผ่น หรือโซนบางโดยชิ้นงานจะถูกกระทำโดยความเค้นเฉือน (shear stress) ที่มีค่าสูงและเกิดการครากที่อัตราเครียด (strain) สูง แสดงดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงสภาวะการเกิดขึ้นของมีดตัดฉากใบมีดเดียว

ถ้าพิจารณาดูพฤติกรรมของวัสดุชิ้นงาน ภาพประกอบ 5 จะพบว่าที่บริเวณเริ่มต้น คือจุดที่ 1 วัสดุชิ้นงานจะมีความเค้นที่ใกล้เคียงศูนย์ และอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง หรือสูงกว่า อุณหภูมิห้องเล็กน้อย ถ้าสมมุติว่าใบมีดอยู่กับที่ เมื่อวัสดุเคลื่อนที่ไปอยู่จุดที่ 2 ความเค้นจะสูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อวัสดุเคลื่อนที่เข้าไปบริเวณที่เป็นโซน หรือแผ่นบางๆ abcd ที่จุดที่ 3 วัสดุจะถูกกระทำโดยความเค้นเฉือนอย่างทันทีทันใด และความเค้นเฉือนที่มากระทำจะมีค่ามากกว่าความต้านทานต่อการเฉือนของเนื้อวัสดุ ซึ่งเป็นผลทำให้เนื้อวัสดุถูกเฉือนให้ขาดออกไป เนื้อวัสดุที่เฉือนออกไปนี้จะกลายเป็นฝอย

ทางด้านหลังจากระนาบเลือนฝอยโลหะจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ในทิศทางตั้งฉากกับคมมีดจนถึงบริเวณหนึ่ง ฝอยโลหะจะโค้งออกจากผิวหน้ามีด ฝอยโลหะที่จุดที่ 4 จะมีความเค้นลดลง และเมื่อผงโลหะเคลื่อนที่ไปพ้นสนามความเค้น (stress field) ที่จุด 5 ฝอย โลหะก็จะมีความเค้นเป็นศูนย์

2.5.3 แรงในการตัดวัสดุ (Cutting Force)

แรงในการตัดวัสดุ หมายถึง แรงที่ชิ้นงานกดลงบนคมมีดมีความสำคัญมาก และต้องมีการควบคุมให้มีค่าไม่สูงมากเกินไป เพราะถ้าแรงในการตัดมีค่าที่สูงเกินไปสามารถทำให้มีดแตกหักได้ หรือแรงที่เพิ่มขึ้นลดลงเร็วเกินไปจะทำให้มีดล้าแล้วเกิดการแตกหักในที่สุด ทิศทางของแรงจะต้องไม่ทำให้เกิดความเครียดแบบยืด เพราะใบมีดส่วนใหญ่เป็นวัสดุเปราะด้วยความเครียดแบบยืดได้ไม่มากนักก็จะแตกหักหรือร้าว ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแรงตัด เช่น แรงในการ ตัดเพิ่มหรือลดด้วยตัวแปรใด หรือสามารถคำนวณได้ว่าเมื่อตัวแปรใดเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้แรงที่ใช้ในการตัดสูงหรือลดลงเช่นไร ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมขนาดและทิศทางของแรงตัดให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้

นอกจากนี้แรงตัดที่กระทำบนคมมีดและแรงที่เกิดขึ้นบนผิวหน้ามีดยังเกี่ยวข้องกับการเกิดความร้อนและอุณหภูมิในการตัด อุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับการสึกหรอของมีด เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การสึกหรอของคมมีดเกิดขึ้นได้รวดเร็วขึ้น ดังนั้นความพยายามที่จะคำนวณหาค่าแรงในการตัดวัสดุจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ที่มีนักวิจัยให้ความสนใจในการศึกษาและค้นคว้าเป็นจำนวนมาก โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงในการตัดวัสดุที่สำคัญ ๆ จะมีอยู่หลายปัจจัย จึงได้มีการสรุปเฉพาะตัวแปรที่มีความสำคัญมากอยู่ทั้งหมด 7 ตัวแปรดังนี้

1) อัตราการป้อนมีด (feed rate)

2) ความลึกในการตัด (depth or width of cut)

3) ความเร็วตัด (cutting velocity)

4) มุมมีดตัด (combination of tool angle)

5) สภาวะการหล่อเย็น (condition of lubrication)

6) คุณสมบัติของวัสดุชิ้นงาน โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ

7) รูปทรงของใบมีดตัด (sharpness of tool edge)

โดยจะครอบครุมกรรมวิธีในการตัดที่สำคัญ ๆ และใช้กันมาก เช่น การกลึง การ กัด การไส การเจาะ เป็นต้น

2.6 คุณสมบัติของมีดตัด

คุณสมบัติที่ต้องการในการใช้งานของมีดตัดสามารถที่จะแยกออกได้ดังนี้

1) มีความแข็งแรงสูง (high hardness) ในอุณหภูมิปกติของห้อง ความแข็งของมีดตัดต้องมีความแข็งแรงที่สูงกว่าชิ้นงานมาก จึงสามารถที่จะผ่าชิ้นงานออกเป็นสองส่วนได้โดยการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานและมีดตัดมักนิยมใช้การวัดระบบ Rockwell และวัดที่อุณหภูมิห้อง

2) คงความแข็งแรงได้ที่อุณหภูมิสูง (hot hardness) ขณะที่มีดตัดชิ้นงานอยู่นั้น ทั้งชิ้นงานและใบมีดจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้ทั้งชิ้นงานและมีดตัดเกิดการอ่อนตัวลง คือค่าความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าค่าความแข็งแรงของมีดตัดมีค่าที่สูงกว่าชิ้นงานเพียงเล็กน้อย จะทำให้มีดตัดเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว หรือแตกหักลงไปไม่สามารถตัดชิ้นงานได้ มีดตัดที่ดีควรมีค่าความแข็งแรงลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง

3) ต้านทานความสึกหรอได้ดี (high wear resistance) ที่ผิวหน้ามีดจะมีการเสียดสีระหว่างมีดกับเนื้อฝอย และผิวหลังมีดใกล้บริเวณคมมีดจะมีการเสียดสีระหว่างมีดกับเนื้อ ชิ้นงานที่เพิ่งถูกตัดการเสียดสีที่อุณหภูมิสูงทำให้มีดตัดสึกหรอ มีดตัดต้องสามารถต้านทานการสึกหรอได้ดี โดยทำการเติมสารบางชนิดเพื่อที่จะทำให้ต้านทานการสึกหรอได้ดี

4) มีความแข็งแรงสูง (high strength) มีดตัดควรมีความต้านทานการดึง (tensile strength) สูง และมีค่าต้านทานการกด (compressive strength) สูงด้วย เพื่อจะทำให้ทนทานไม่แตกหักง่าย

5) ไม่เปราะ กะเทาะ หรือ ร้าวง่าย เมื่อถูกกระทบกระแทก (shock resistance) ในการใช้งานของมีดตัดต้องมีความแข็งแรงที่สูง ดังนั้นจะทำให้เกิดการเปราะได้ง่าย คุณสมบัตินี้จึงจำเป็นต้องใช้การเลือกวัสดุของมีดตัดที่เหมาะสมในการใช้งาน

6) ไม่ไวต่อการประลัยต่อการล้า (fatigue resistance) มีดตัดต้องมีความทนต่อการแตกหักหรือประลัยโดยการล้าได้ยาก

7) ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้สึกหรอได้อย่างรวดเร็ว ไม่ทำ ปฏิกิริยาเคมีกับอากาศจนเป็นสนิมได้ง่าย ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำหล่อเย็น จนอาจทำให้เกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็ว

8) ขึ้นรูปได้ง่าย มีดตัดที่แข็งจะยากแก่การหล่อหลอม ยากแก่การตัด เจียระไน หรือ อัดหลอม เพื่อให้มีขนาดรูปร่างที่ต้องการ

9) ราคาถูก เพื่อที่ให้สามารถผลิตเป็นมีดตัดได้ และจำหน่ายให้ได้รับความนิยมนำไปใช้งาน

2.7 อายุการใช้งานของมีดตัด

อายุการใช้งานได้มากเท่าไร เช่น ตัดชิ้นงานได้เป็นเวลาเท่าไร ตัดชิ้นงานได้กี่ชิ้น ก่อนใบมีดจะหมดสภาพการใช้งาน โดยเกิดการแตกหัก กะเทาะ ร้าว หรือ สึกหรอจนเกินขนาดที่ ยอมรับได้ จะต้องทำการวางแผนในการเปลี่ยนใบมีดทั้งใบ หรือลับคมตัดอีกครั้ง (จรวยพร แสนทวี และคณะ, 2557)

อายุใบมีด (tool-bit life) ใบมีดอินเสิร์ทที่เกิดการสึกหรอ หรือแตกหักแล้วต้องทิ้งเลย

อายุคมมีด (tool-edge life) เป็นกรณีที่สึกหรอ หรือแตกหักแล้วลับใหม่ได้ เช่น เหล็กกล้าไฮสปีด จะนับอายุการใช้งานเริ่มต้นที่ศูนย์เมื่อเริ่มการใช้งานหลังจากการลับคมมีดแต่ละครั้ง

2.7.1 หน่วยวัดอายุการใช้งาน

1) เวลาในการตัดจริงจนคมมีดหมดสภาพการใช้งาน (actual cutting time to failure) เวลาที่คมมีดผ่าลงบนชิ้นงานจริง ๆ นิยมใช้หน่วยเป็นนาที โดยการระบุในหน่วยเวลาจริง จะนิยมใช้ในตำราเอกสารต่าง ๆ ใช้กับงานกรรมวิธีที่คมมีดสัมผัสกับชิ้นงานต่อเนื่องระหว่างการตัด เช่น การกลึง การไส การเจาะด้วยดอกสว่าน

2) เวลาทั้งหมดในการตัดจนใบมีดหมดสภาพในการใช้งาน (total time to failure) เวลาทั้งหมดที่ใช้เครื่องจักรกล ไม่ว่าจะเป็นเวลาที่คมมีดจะตัดชิ้นงานหรือไม่ก็ตาม นิยมใช้กับกรรมวิธีในการตัดที่คมมีดสัมผัสกับชิ้นงานอย่างไม่ต่อเนื่องระหว่างการตัด เช่น การกัด ซึ่งการหาเวลาในการตัดจริงเป็นไปได้ยาก

3) ความยาวของชิ้นงานที่ถูกตัดออกไปตั้งแต่เริ่มตัดจนคมมีดหมดอายุ วัดเป็นเมตร หรือ ฟุต ตามแต่ผู้ใช้งานนิยมเป็นวิธีระบุที่เข้าใจง่ายในการใช้งานในอุตสาหกรรม

4) ปริมาตรของชิ้นงานที่ถูกตัดออกไปตั้งแต่เริ่มต้นตัดจนคมมีดหมดอายุ วัดเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร ลูกบาศก์นิ้ว หรือหน่วยอื่นที่ผู้ใช้นิยมใช้งานเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้งานในอุตสาหกรรม

5) จำนวนชิ้นส่วนที่ผลิตได้ก่อนที่คมมีดจะหมดอายุ วิธีนี้สะดวกและเข้าใจง่ายในการวางแผนและควบคุมการผลิตในโรงงาน และง่ายต่อการติดตั้งอุปกรณ์นับจำนวนชิ้นงาน

2.7.2 เกณฑ์ตัดสินว่ามีดหมดอายุ

คมมีดหมดอายุ คือ การที่คมมีดไม่สามารถตัดชิ้นงานให้เป็นชิ้นส่วนที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการ โดยอาจแยกได้ดังนี้

1) คมมีดแตกหักโดยสิ้นเชิง (total failure) ใช้งานต่อไปไม่ได้และอาจจะเป็นอันตราย

2) คมมีดเกิดการแตกร้าว (cracking) หรือการกะเทาะ (chipping) ใกล้แตกหักต้อง เลิกการใช้งานก่อนจะแตกหักจริงจนเป็นอันตราย

3) คมมีดสึกหรอมากหมดสภาพการใช้งานหรือใกล้จะแตกหักแล้ว การวัดค่า ขนาด สึกหรอเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก เพราะใบมีดมีลักษณะการสึกหรอมากมายหลายรูปแบบจำเป็นต้องเลือกวิธีการวัดอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยมีวิธีที่ชัดเจนสามารถทำซ้ำ หรือตรวจสอบได้

4) รอยแถบสึก (wear land) ที่ผิวด้านหลังมีด หรือผิวหลบของคมมีด (tool flank) มีขนาดที่สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ ถ้าใช้งานต่อไปจะเสี่ยงต่อคมมีดแตกหัก

5) ความลึกของหลุมรอยสึก (crater depth) หรือความกว้างของหลุม (crater width) ที่ผิวหน้ามีดมีขนาดสูงเกินค่าที่ยอมรับได้ ถ้าใช้งานต่อไปจะเสี่ยงต่อคมมีดแตกหัก

6) ปริมาตร หรือน้ำหนักของรอยสึกมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้

7) ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีขนาดผิดไปจากค่าที่กำหนดเกินกว่าที่จะยอมรับได้ ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีความขรุขระของพื้นผิวสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

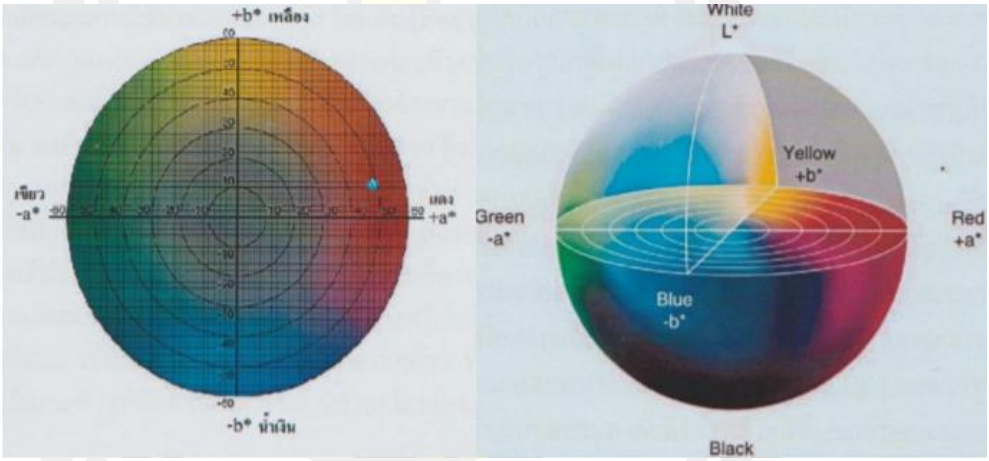
2.8 การวัดค่าสี

สี เป็นคุณสมบัติเชิงแสงที่สามารถใช้บรรยายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพได้ง่ายที่สุด วิธีหนึ่งในการอธิบายสีของวัตถุผลิตภัณฑ์ด้วยคำพูด มาตรฐานของการบรรยายลักษณะสีอาจจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ลักษณะทางกายภาพของตาของผู้บรรยาย ลักษณะแสงที่ตกกระทบ ดังนั้นการวัดและบรรยายสีในเชิงวิชาการจึงต้องมีการจัดมาตรฐานเพื่อเป็นการลดความไม่เป็นกลาง (bias) ของผู้บรรยายสีของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ปัจจัยที่ทำให้เกิดสีมีอยู่ 3 ประเภท (จาตุพงศ์ วาฤทธิ์, 2547)

1) แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่งกำเนิดแสงมีผลอย่างมากในการบรรยายสีของวัตถุ แหล่งกำเนิดแสงถ้ามีแสง แตกต่างจากสีขาวเมื่อตกกระทบกับวัตถุจะทำให้แสงที่สะท้อนกลับมาเกิดสีที่แตกต่างไป เช่น แสงจาก หลอด incandescent จะเพิ่มแสงสีส้ม ในขณะที่ fluorescent จะให้แสงขาวเย็น

2) วัตถุที่มอง (specimen) วัตถุที่ทึบแสง (opaque) จะให้การสะท้อนแสงเพื่อเกิดสีแตกต่างจากวัตถุที่โปร่งแสง (translucent) และโปร่งใส (transparent) ลักษณะของการตกกระทบของแสงบนวัตถุ

3) ผู้สังเกตการณ์ (observer) มีผลอย่างยิ่งต่อการบรรยายสีที่มองเห็น ผู้สังเกตการณ์ต่างคนจะบรรยายลักษณะสีต่างกันขึ้นอยู่กับสรีระทางกายภาพของตาแต่ละคน ในร่างกายคนจะมีเซลล์อยู่ 2 ชนิดที่เกี่ยวข้องกับการวัดสี คือเซลล์รูปแท่ง และเซลล์รูปโคน เซลล์รูปแท่งจะตอบสนองได้ดีกับการมองเห็นในที่เกี่ยวกับความมืดสว่าง ส่วนเซลล์รูปโคนจะตอบสนองต่อสีที่มองเห็น การรายงานสีมีการรายงานด้วยกันอยู่หลายระบบในการวิจัยนี้ใช้ระบบ CIE L* a* และ b* ในระบบสี L* a* และ b* นี้ ค่า L* จะหมายถึงความสว่าง ส่วน a* และ b* จะเป็นค่า สัมประสิทธิ์ สีค่าa* และ b*จะบอกทิศทางของสี เช่น +a* หมายถึงอยู่ในทิศทางสีแดง -a* หมายถึง อยู่ในทิศทางสีเขียว, +b* หมายถึงอยู่ในทิศทางสีเหลือง และ -b* หมายถึงอยู่ในทิศทางสีน้ำเงิน เมื่อ ค่า a* และ b* เพิ่มขึ้นและจุดดังกล่าวเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางความอิ่มตัวของสีก็จะเพิ่มขึ้น ดัง แสดงในภาพประกอบ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นค่าสีต่าง ๆ ของปริภูมิสี L* a* และ b* อย่างชัดเจน



ที่มา: (จารุพงศ์ วาฤทธิ์, 2547)

ภาพประกอบ 6 ค่าสีในระบบ CIE L* a* b*

2.9 สมบัติทางเนื้อสัมผัส (Texture properties)

สมบัติทางเนื้อสัมผัส เป็นสมบัติทางวิศวกรรมของอาหารซึ่งเป็นสมบัติเชิงกลในกลุ่ม Rheological properties เนื้อสัมผัสเป็นสมบัติของอาหารซึ่งมีผลมาจากโครงสร้างของอาหารซึ่งรับรู้ได้โดยการสัมผัส เช่น การหยิบจับ การเคี้ยวจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอาหารที่เป็นของแข็ง หรือการไหลของอาหารที่เป็นของเหลวเมื่อมีแรงมากระทำสามารถวัดได้ในรูป แรง ระยะทาง หรือเวลา โดยทั่วไปใช้คำว่าลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) กับของแข็งหรือของกึ่งแข็ง (semi-solid) และใช้คำว่า ความหนืด (viscosity) กับของเหลว

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis) ตัวอย่างของสมบัติทางเนื้อสัมผัส

1) Adhesiveness/Stickiness งานหรือแรงที่ใช้ในการดึงเพื่อแยกพื้นผิวของตัวอย่างอาหารออกจากพื้นผิวของหัววัด หรือพื้นผิวอื่นที่สัมผัสกับอาหารในขณะนั้น

2) Consistency ความคงตัว เป็นสมบัติทางเนื้อสัมผัสซึ่งมักจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว หรือครีม หรือกึ่งของแข็ง เช่น ผลิตภัณฑ์นม ซอส น้ำเชื่อม โลชั่น เป็นต้น

3) Crispiness ความกรอบบางครั้งใช้คำว่า brittleness เป็นสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้ตัวอย่างแตกออกจากกันพร้อมกับการเกิดเสียง

4) Firmness/Hardness/Softness ความแน่นเนื้อ (firmness) ความแข็ง (hardness) และนุ่ม (softness) เป็นกลุ่มสมบัติด้านเนื้อสัมผัสประเภทเดียวกัน ซึ่งวัดค่าเป็นความชันของกราฟระหว่างแรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง มีหน่วยเป็นแรงต่อระยะทาง เช่น นิวตันต่อมิลลิเมตร (N/mm) ผลิตภัณฑ์ที่มีความนุ่มมากมีความแข็งน้อยหรือมีความแน่นเนื้อน้อยจะต้านทานต่อการเสียสภาพจากแรงกระทำได้น้อย

5) Fracturability แรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกออกจากกัน มักเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมากแต่การยึดเกาะตัวน้อย ค่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าความเปราะ (brittleness) สมบัตินี้มักใช้เพื่ออธิบายเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบ (bakery) ของขบเคี้ยว หรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของแห้งกรอบ

6) Toughness ความเหนียว มักใช้อธิบายคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ ปลา ไก่ และผลิตภัณฑ์อบบางชนิดที่ทำจากแป้งข้าวสาลี เช่น แพนเค้ก และพิซซ่า อาหารเส้น เช่น ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน ค่าความเหนียวคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงและระยะการเปลี่ยนแปลง รูปร่างจากการวัดเนื้อสัมผัสในช่วงจุดเริ่มต้นถึงจุดที่แรงสูงสุด

2.10 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Point : BP , PP) คือ จุดที่รายได้เท่ากับต้นทุน หรือ มีกำไรเท่ากับศูนย์ ในการวิเคราะห์เรื่องนี้ เกี่ยวพันธ์กับ การหาความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุน (cost) ปริมาณ (quantity) รายได้ (revenue) และ กำไร (profit) ในบางตำราเรียกว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุน ปริมาณ และกำไร นับเป็นเครื่องมือที่ สำคัญสำหรับ ใช้ในการกำหนดนโยบาย วางแผน และตัดสินใจทางเลือกต่าง ๆ ในการลงทุน ซึ่งการวิเคราะห์นี้ เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในระยะสั้นและมีข้อมูลค่อนข้างแน่นอนชัดเจนเพื่อ ประกอบการตัดสินใจที่ถูกต้อง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเกี่ยวพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1) ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost : FC) ค่าใช้จ่ายคงที่ เช่น ค่าเครื่องจักร ค่าโรงงาน ค่าที่ดิน เงินเดือน และ ค่าใช้จ่ายที่คงที่ที่ไม่ว่าจะแปรเปลี่ยนปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือมีค่าใช้จ่ายคงที่ไม่ว่าจะมีปริมาณการผลิตเท่าไร

2) ต้นทุนแปร (Variable Cost : VC) ค่าใช้จ่ายแปรผัน เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน โดยตรง อีกนัยหนึ่งคือค่าที่แปรผันตามปริมาณการผลิต

3) ต้นทุนแปรต่อหน่วย (Variable Cost per Unit : v) เช่น ในการผลิตปลากระป๋อง มี ปลาในกระป๋องและกระป๋อง เป็นต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

4) ต้นทุนรวม (Total Cost : TC) โดยปกติคือ ผลรวมของต้นทุนคงที่และต้นทุนแปร ผันทั้งหมด

5) ปริมาณ (Quantity : Q) คือ ปริมาณการผลิตซึ่งในการวิเคราะห์นี้ โดยปกติถือว่ามี ค่าเท่ากันระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการขาย

6) รายได้ทั้งหมด (Total Revenue : TR) คือ รายได้ที่ได้จากการขาย ซึ่งเป็นฟังก์ชั่น ของราคาขายกับปริมาณการผลิต (การขาย)

7) ราคาขาย (Price : P) โดยปกติคือ ราคาขายต่อหนึ่งหน่วย (Unit Price)

8) กำไร (Profit : P) โดยปกติคือ กำไรจากการขายของผลิตภัณฑ์ (ที่สมมติว่าปริมาณ การขายเท่ากับปริมาณการผลิต)

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน คือการวิเคราะห์โดยใช้สูตรเพื่อแสดงการคำนวณ และระยะเวลาคืนทุนในรูปแบบตัวเลข ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$\text{Break Even Point} = \frac{\text{Fixedcost}}{\text{Price} - \text{Variablecosts}} \qquad (2.1)$$

$$\text{คือ จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่ทั้งสิ้น}}{\text{ราคาค่าบริการต่อหน่วย} - \text{ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย}}$$

$$\text{Pay Back Period} = \frac{\text{Fixedcost}}{\text{Profit}} \qquad (2.2)$$

คือ ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{\text{กำไร}}$

2.11 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน (Rate of return analysis)

การลงทุนในโครงการทางวิศวกรรมนั้น มักเป็นการลงทุนขนาดใหญ่และใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นที่ผู้ลงทุนจะต้องคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่คุ้มค่ากับการลงทุน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่สามารถตอบสนองความพึงพอใจ (Minimum attractive rate of return, MARR) ซึ่งส่วนมากค่า MARR จะกำหนดจาก อัตราดอกเบี้ยเงินกู้หรืออัตราดอกเบี้ยเงินฝาก ในกรณีที่ผู้ลงทุนใช้วิธีกูยืมเงินจากแหล่งเงินกู้อัตราผลตอบแทนของโครงการที่ถูกเลือกจะต้องมีค่าสูงกว่าอัตราเงินกู้เพื่อที่จะมีเงินจากผลตอบแทนที่เพียงพอสำหรับนำมาชำระให้แหล่งเงินกู้และในกรณีที่เป็นการลงทุนโดยใช้เงินส่วนตัวของหน่วยงานเอง อัตราผลตอบแทนของโครงการที่ถูกเลือกจะต้องมีค่าสูงกว่าอัตราเงินฝากเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสำหรับการถอนเงินคงคลังออกจากธนาคาร เพื่อนำมาลงทุนในโครงการดงกล่าวถ้าอัตราผลตอบแทนที่คำนวณได้ ของโครงการมีค่ามากกว่า MARR ก็สามารถสรุปได้ว่าโครงการดั่งกล่าวมีความเหมาะสมในการลงทุน หรือในกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบกันหลายโครงการ โครงการที่ให้อัตราผลตอบแทนสูงสุดจะเป็นโครงการที่ได้รับการพิจารณา ทั้งนี้อัตราผลตอบแทน ที่ได้จากการคำนวณนี้ คืออัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปี ของเงินลงทุน (PWD) มีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปี ของผลประโยชน์ที่ได้รับ (PWB) ในกรณีที่คำนวณโดยใช้ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present worth, PW) ดังสมการที่ 2.3

$$PW_{D,i\%} = PW_{B,i\%} \qquad (2.3)$$

ในกรณีที่คำนวณโดยใช้มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Equivalent uniform annual worth, EUAW) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.4

$$EUAW_{D,i\%} = EUAW_{B,i\%} \qquad (2.4)$$

โดยกำหนดให้ PW_D คือ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันของเงินลงทุน (บาท)

PW_B คือ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันของผลตอบแทน (บาท)

$EUAW_D$ คือ มูลค่าเทียบเท่ารายปีของเงินลงทุน (บาท)

$EUAW_B$ คือ มูลค่าเทียบเท่ารายปีของผลตอบแทน (บาท)

i% คือ อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปีของเงินลงทุนมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปีของผลประโยชน์ที่ได้รับ

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำสารกลูโคแมนแนนไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

สารสำคัญในหัวบุก คือ สารกลูโคแมนแนน เป็นสารให้ความข้นหนืดและทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ แยม และเจลลี่ เมื่อรับประทานเข้าไปในร่างกายแล้วจะไม่ย่อยและดูดซึมแต่จะทำหน้าที่เป็นใยอาหารซึ่งมีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์แปรรูป โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำสารกลูโคแมนแนนไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ได้แก่

ชาลิดา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ (2556) ได้ศึกษาขั้นตอนที่เหมาะสมในการสกัดผงบุกกลูโคแมนแนน จากหัวบุกสดและแห้งรวมถึงการประยุกต์ในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ การทำเป็นฟิล์มบริโภคได้เคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้ส่งออกที่เก็บเย็นที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ได้ถึง 30 วัน และเมื่อนำผงบุกกลูโคแมนแนนมาใช้เป็นสารเคลือบ หรือตรึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าสามารถกักเก็บสารเหล่านั้นและปลดปล่อยในระยะเวลาที่ต้องการ ซึ่งแสดงถึงสมบัติการเป็นสารเคลือบเพื่อปกป้องและปลดปล่อยสาระสำคัญได้

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ (2557) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องฟิล์มย่อยสลายได้ที่มีหน้าที่เฉพาะจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ พบว่าผงบุกกลูโคแมนแนนมีสมบัติการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ดีมีสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มบริโภคได้ เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและสมุนไพร

กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และคณะ (2559) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืช ซึ่งผลิตจากน้ำนมจากจมูกข้าวเจ้า ลูกเดือย ข้าวโพด และงาขาว โดยแปรปริมาณการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลที่เหมาะสมในการผลิตเยลลี่ธัญพืช ได้แก่ คาราจีแนน และกลูโคแมนแนน แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปทำการทดสอบคุณภาพ ทางด้านเคมี และกายภาพเพื่อหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสม พบว่าปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลในระดับ ร้อยละ 1.0 เป็น ปริมาณที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งของเจล ค่าความเหนียว และค่าความยืดหยุ่นของอาหารใกล้เคียงกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คือเยลลี่คาราจีแนนยี่ห้อริชเชส จากนั้นได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนของสารผสมระหว่างคาราจีแนนผสมกับกลูโคแมนแนนในการผลิตเยลลี่ ธัญพืช และนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นไปศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ

ณัชชากร วรสาร และคณะ (2560) ศึกษาการเตรียมและประเมินผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่มีส่วนผสมของกลูโคแมนแนน พบว่าการใช้กลูโคแมนแนนเพียงชนิดเดียวไม่สามารถเตรียมเป็นกัมมี่เยลลี่ได้ การใช้กลูโคแมนแนนร่วมกับเจลาตินในอัตราส่วนกลูโคแมนแนนต่อเจลาติน 1 ต่อ 9 และ 2 ต่อ

8 ที่ระดับสารก่อเจลรวมร้อยละ 12-20 โดยน้ำหนัก สามารถขึ้นรูปเป็นกัมมี่เยลลี่ได้ ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้วิธีวิเคราะห์โปรไฟล์เนื้อสัมผัสพบว่าค่าเนื้อสัมผัสของกัมมี่เยลลี่ที่เตรียมจากกลูโคแมนแนนร่วมกับเจลาตินและกัมมี่เยลลี่ที่เตรียมจากเจลาตินได้แก่ ความแข็งแรงยืดเหนี่ยว ความเหนียว ความยืดหยุ่น และความทนต่อการเคี้ยว มีค่าไม่แตกต่างกัน การเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคแมนแนนร่วมกับเจลาตินจากระดับร้อยละ 12 เป็นร้อยละ 18 มีผลให้ความแข็ง ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยวของกัมมี่เยลลี่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่แรงยืดเหนี่ยวและความยืดหยุ่นไม่เปลี่ยนแปลง

จากการสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า สารกลูโคแมนแนนพบมากในหัวบุก เมื่อนำสารกลูโคแมนแนนใช้ร่วมกับสารอื่นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อทำหน้าที่ดังนี้ ทำให้เกิดเจลที่มีความเหมาะสม ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในผลิตภัณฑ์ และยังพบว่าผงบุกกลูโคแมนแนนมีสมบัติการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ดีมีสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มบริโภคได้ เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งช่วยเพิ่มเส้นใยอาหารที่มีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์แปรรูป ในอุตสาหกรรมอาหารได้นำผงบุกกลูโคแมนแนนร่วมกับผลิตภัณฑ์แปรรูป แต่ยังไม่มีการนำข้าวผสมแป้งบุก จึงได้นำบุกมาแปรรูปผสมกับแป้งเพื่อขึ้นรูปข้าวบุกในลักษณะของเม็ดข้าว

2.12.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาใบมีดตัด

การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก ใบมีดตัดเป็นปัจจัยในการเพิ่มผลผลิต ซึ่งจะตัดท่อนแป้งเพื่อขึ้นรูปข้าวบุกให้ได้ปริมาณข้าวที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาใบมีดตัด ได้แก่

ดุสิต ธรรมแสง (2545) ได้ปรับปรุงวิธีการจัดการใช้ใบมีดตัดของกระบวนการตัดแต่งไม้ยางพาราแปรรูปของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ โดยเบื้องต้นจะทำการศึกษาคุณสมบัติของไม้ยางพาราและใบมีดตัดที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงทำการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการตัดแต่งชิ้นงานในปัจจุบันข้อกำหนดความหยาบผิวของชิ้นงาน จากนั้นทำการออกแบบการทดลองของตัวแปรที่ส่งผลต่อการตัดได้แก่ ความเร็วรอบ ระยะลึกของรอยตัด และอัตราการป้อนงาน โดยจะแสดงผลการทดลองจากการวัดค่าการสึกหรอของใบมีดตัด ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการตัด และค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน สุดท้ายนำเอาผลการทดลองไปปฏิบัติในสายการผลิต

ยงยุทธ เสียงดัง และคณะ (2551) ได้ศึกษาใบมีดกรีดยางซึ่งเปนองคประกอบที่สำคัญอยางหนึ่งในการตัดเปลือกยางพารา เพื่อตองการใหไดน้ำยางพาราในปริมาณที่เหมาะสม และตองไมกอใหเกิดความเสียหายแกตนยางดวย การตัดจะใชพลังงานมากหรือนอยขึ้นอยูกับมุมมีดทั้ง 4 มุม คือ มุมเงย มุมมีด มุมหลบและมุมเอียง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงคเพื่อหามุมของใบมีดกรีดยางที่เหมาะสม เพื่อที่การกรีดยางจะใชพลังงานในการตัดหรือพลังงานจำเพาะที่ต่ำที่สุด จากการทดลองที่มุมมีด 10

ระดับและมุมเอียง 10 ระดับ โดยกำหนดใหมุมหลบคงที่ที่ 150 พบวาที่มุมมีด 450 และมุมเอียง 450 ใชพลังงานจำเพาะในการตัดเปลือกยางพาราน่อยที่สุด เทากับ 0.00202 จูล/ตารางมิลลิเมตร

วิเชียร ชัยสถาพร และคณะ (2553) ได้พัฒนาใบมีดตัดสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้ง และศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของใบมีดตัดสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้ง โดยได้ทำการออกแบบใบมีดตัดสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้ง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือแบบประเมินศึกษาประสิทธิภาพ และแบบประเมิน สมรรถนะ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) ใบมีดตัดที่พัฒนาขึ้นสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้ง พบว่ามีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดคือสามารถลดของเสียจากการผลิตก่อนที่จะมีการพัฒนาใบมีดตัดสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้ง ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมาใช้แทนจึงสามารถตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้งได้ดีขึ้นกว่าเดิม 2) การประเมินสมรรถนะของใบมีดตัดสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้งโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าสมรรถนะของใบมีดตัดสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้งด้านลักษณะการออกแบบอยู่ด้านการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ระดับดี

ยงยุทธ เสียงดัง และคณะ (2555) ได้ศึกษาตัวแปรของการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วยการออกแบบ และทดสอบประเมินผลของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่ามีดกรีดยางพาราที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (มีดเจ๊ะบง) มีข้อจำกัด เช่น ต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะและประสบการณ์สูง จำนวนต้นที่กรีดได้ต่อคนต่อวันน้อย มีการสูญเสียพลังงานในการกระตุกมาก ความสิ้นเปลืองเปลือกสูง และเยื้อเจริญถูกทำลาย จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้ทำการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีด ยางพาราอัตโนมัติที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ออกแบบกลไกควบคุมความหนาและความลึก ออกแบบรูปร่างให้มีขนาดกะทัดรัดและน้ำหนักเบา ขั้นตอนการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ขั้นตอนที่ 1 การหามุมเอียง จำนวนฟันและอัตราป้อนต่อฟันของใบมีดที่เหมาะสม และขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบมีด สำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดเจ๊ะบง จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ที่มุมเอียงใบมีดบวก 45 องศา จำนวนฟันใบมีด 4 ฟัน และอัตราป้อน 3 มิลลิเมตรต่อฟัน ใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุด 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และจากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดเจ๊ะบงพบว่าคุณภาพงานกรีดดีกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ใช้ในการกรีดน้อยกว่า 3.02 วินาทีตัวแปรที่ได้จากการทดสอบเหมาะสำหรับการสร้างใบมีดสำหรับเครื่อง กรีดยางพาราอัตโนมัติ

นริศรา มหาธนินวงศ์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกรีดของมีดกรีดยางที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับ รองรับเครื่องกรีดยางอัตโนมัติ โดยได้ออกแบบมีดกรีดยางแบบวงกลม 3 รูปแบบ ซึ่งมีดกรีดยางแบบที่ 1 มีลักษณะ ใบมีดรูปตัวยู แบบที่ 2 ใช้เม็ดมีดเป็นคมมีด และแบบที่

3 ใช้ลักษณะของใบมีดแบบมีดกรีดยางเจ๊ะบง จากการศึกษา พบว่ามีดกรีดยางแบบที่ 2 ให้ค่าความสิ้นเปลืองเปลือกเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ 1.98-2.17 มิลลิเมตร ส่วนมีดกรีดยางแบบที่ 1 ให้ค่าความสิ้นเปลืองเปลือกเฉลี่ย 2.67-2.90 มิลลิเมตร และมีดกรีดยางแบบที่ 3 มีค่าความสิ้นเปลืองเปลือกเฉลี่ยสูงสุดเป็น 2.91-3.11 อย่างไรก็ตามมีดกรีดยางแบบที่ 1 เหมาะสมสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติมากกว่าแบบ 2 และ 3 เนื่องจากให้ค่าความกว้างของรอยกรีดใกล้เคียงความหนาเปลือกยางมากที่สุด 4.58 มิลลิเมตร และหน้ายางที่ได้ มีความเรียบที่สุด นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพในการกรีดยังขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของมีดกรีดยางวงกลม โดยความเร็วรอบการหมุนเพิ่มขึ้นค่าความสิ้นเปลืองเปลือกเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นลักษณะหน้ายางจะมีความเรียบมากขึ้น

จากการสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า ใบมีดตัดเป็นปัจจัยหลักในกระบวนการผลิตของเครื่องจักร จึงได้ออกแบบลักษณะใบมีดและมุมของใบมีดตัดสำหรับการตัดผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมในการตัดผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก เพื่อให้ได้ใบมีดตัดท่อนแป้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้ขนาดท่อนแป้งที่เหมาะสมและขึ้นรูปข้าวที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์ และให้ได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกมากที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

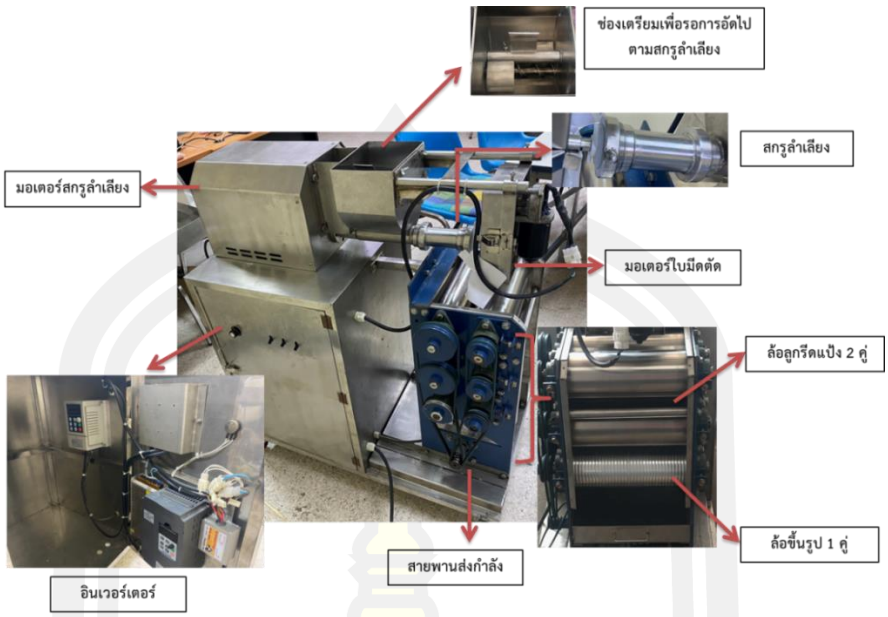
3.1 เครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก

เครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุกต้นแบบสร้างโดย กำพล หล่มวงศ์ และธวัชชัย จิตเกษมสกุล (2562) แสดงดังภาพประกอบ 7

ภาพประกอบ 7 เครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปจะถูกส่งกำลังด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/8 แรงม้า และอัดแป้งด้วยหลักการเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่สกรูลำเลียง โดยจะผ่านการตัดท่อนด้วยใบมีดตัดและท่อนแป้งจะตกไปยังลูกรีดโดยผ่านการรีดแป้ง 2 คู่ และผ่านการตัดขึ้นรูป 1 คู่ การส่งกำลังของมอเตอร์ลูกรีด จะขับชุดลูกรีดด้วยสายพานที่ความเร็วรอบ 300 rpm ระยะห่างของลูกรีดคู่บนเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ระยะห่างของลูกรีดชุดกลางเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ คู่ล่างเป็นล้อขึ้นรูป โดยจะมีร่องขึ้นรูปให้ดูรูปร่างเหมือนเมล็ดข้าว ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในการขึ้นรูปเม็ดข้าวบุก

1) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ความละเอียด 3 ตำแหน่ง

2) เครื่องวัดความเร็วรอบ Tachometer

3) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

4) เครื่องบดละเอียด

5) เครื่องปั่นผสมแป้ง

6) หม้อหุงข้าว

7) เครื่องวัดค่าสี รุ่น Color Flex EZ CFEZ0939

8) เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Stable Micro System TA-XT2)

3.3 วัตถุดิบ

1) แป้งบุก

2) แป้งข้าวกล้อง

3) แป้งมันสำปะหลัง

4) แป้งมันฝรั่ง

3.4 การออกแบบการทดลอง

การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุกแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

การทดลองที่ 2 ศึกษามุมของใบตัด

การทดลองที่ 3 ศึกษาความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

การทดลองที่ 4 ศึกษาคุณภาพข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก

3.5 การเตรียมผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสม

1) นำข้าวกล้องบดด้วยเครื่องบนละเอียดเพื่อเตรียมส่วนผสมแป้งขึ้นรูป

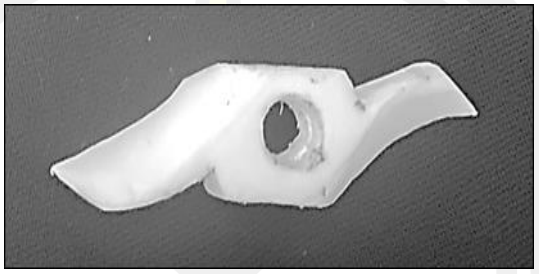
2) จากการพัฒนาแป้งข้าวกล้องผสมแป้งบุกสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าว ดัดแปลงจาก ธัญสุดา คำดี และ ภัทรนันท์ เที่ยงมา (2562) มีอัตราส่วนผสมดังนี้ แป้งบุก 20 กรัม ข้าวกล้อง 70 กรัม แป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม แป้งมันฝรั่ง 5 กรัม ต่อน้ำ 110 มิลลิลิตร ผสมส่วนผสมตามอัตราส่วนดังกล่าว จากนั้นปั่นส่วนผสมด้วยเครื่องนวดแป้ง เป็นเวลา 20 นาที ให้ส่วนผสมเข้ากันดี ดังแสดงในภาพประกอบ 9

ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

1) ออกแบบใบมีดตัดเพื่อใช้ในการตัดแป้งผสมบุก โดยลักษณะใบมีดตัด 3 แบบ ได้แก่ ใบมีดตัดโค้งหน้า ใบมีดตัดโค้งหลัง และใบมีดตัดตรง (มุมคมตัด 30 องศา) ดังภาพประกอบ 10



ก) ใบมีดตัดโค้งหน้า

ข) ใบมีดตัดโค้งหลัง

ค) ใบมีดตัดตรง

ภาพประกอบ 10 ลักษณะใบมีดแบบต่าง ๆ

2) ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 135 รอบ/นาที (100 Hz) ความเร็วรอบของมอเตอร์ลูกรีด 300 รอบ/นาที (65 Hz) ความเร็วรอบของมอเตอร์สกรูลำเลียง 6.63 6.97 และ 7.65 รอบ/นาที (13 14 และ 15 Hz) ใช้ใบมีดตัดจำนวน 3 แบบ สกรูลำเลียงอัดที่จำนวนรูของหัวดายย์ 6 รู ขนาดรูมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร

3) นำแป้งที่ผสมไว้ใส่ช่องด้านบนเพื่อรอการอัดไปตามสกรูลำเลียง โดยแป้งจะถูกอัดด้วยสกรูลำเลียงออกมาเป็นเส้นและถูกตัดด้วยใบมีด แล้วท่อนแป้งจะตกไปยังลูกรีด 2 ชุด และผ่านชุดลูกตัดคู่ที่ 3 ด้านล่าง แล้วตกลงในถาดเก็บตัวอย่าง ใช้เวลาในการผลิต 5 นาที (โดยทดลองเงื่อนไขละ 2 ซ้ำ)

4) ทำการคัดแยกและชั่งน้ำหนักแป้งขึ้นรูป 3 ประเภท ได้แก่ แป้งที่ผ่านการขึ้นรูปข้าวที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์ รูปทรงเม็ดไม่สมบูรณ์ และแป้งที่ไม่ผ่านการรีด (แป้งที่หล่นข้างหลังชุดลูกรีด)

5) พิจารณาเลือกใบมีดตัดที่ตัดท่อนแป้งและขึ้นรูปข้าวที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์ ได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกมากที่สุดและสูญเสียน้อย

การทดลองที่ 2 ศึกษามุมของใบตัด

1) เลือกใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมขึ้นรูปข้าวที่ดีที่สุด จากการทดลองที่ 1 ใบมีดตัดโค้งหน้า ใบมีดตัดโค้งหลัง และใบมีดตัดตรง ศึกษามุมของคมตัด ที่ 30 45 และ 60 องศา

2) ทำการทดลองเหมือนการทดลองที่ 1

3) เลือกเงื่อนไขที่ส่งผลต่อการตัดท่อนแป้งและขึ้นรูปข้าวที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์ ได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกมากที่สุดและสูญเสียน้อย

การทดลองที่ 3 ศึกษาความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

1) เลือกใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมขึ้นรูปข้าวที่ดีที่สุด จากการทดลองที่ 2 ปรับเพิ่มความเร็วรอบของใบมีดตัด 3 ระดับ ดังนี้ 145 155 และ 165 รอบ/นาที และดูกำลังการผลิตการขึ้นรูปข้าวบุก

2) ทำการทดลองการขึ้นรูปข้าวเม็ดบุก (ตามขั้นตอนการขึ้นรูปข้าวจากการทดลองที่ 1)

3) เลือกระดับความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสามารถตัดท่อนแป้งและขึ้นรูปข้าวที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์ และได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกมากที่สุด

การทดลองที่ 4 ศึกษาคุณภาพข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก

1) การวิเคราะห์ค่าสี

นำผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุกลงถ้วยวัดให้เต็ม ปิดฝาครอบให้สนิท ทำการวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้เครื่องวัดค่าสี รุ่น Color Flex EZ CFEZ0939 นำมาใช้ในการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ในระบบ CIE L* (ค่าความสว่างหรือความมืด) a* (ค่าสีแดงหรือสีเขียว) b* (ค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน)

ค่า L* คือความสว่าง มีค่าอยู่ในช่าง 0-100

0 คือโทนสีมืด

100 คือโทนสีสว่าง

ค่า a* คือค่าสีแดงและเขียว

ถ้า a* เป็น – แสดงความเป็นสีเขียว

a* เป็น + แสดงความเป็นสีแดง

ค่า b* คือค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน

ถ้า b* เป็น – แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

b* เป็น + แสดงความเป็นสีเหลือง

นำค่า L* a* b* มาคำนวณเพื่อหามุมของสี (hue) และความเข้มของสี (chroma) จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ดังนี้

$$hue = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.1)$$

$$chroma = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2} \quad (3.2)$$

2) การวัดค่าความแข็งและค่าความเหนียว

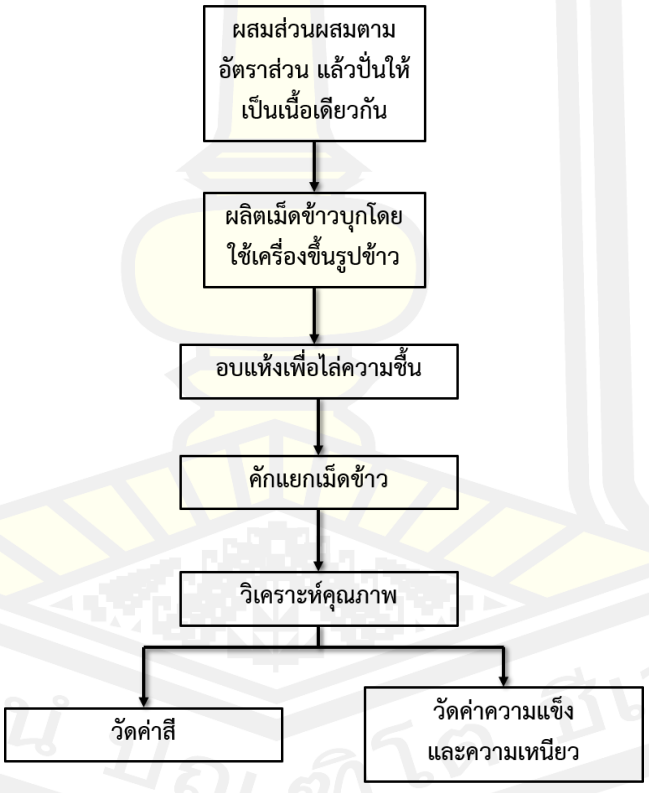
ทำการหุงผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก โดยนำข้าวบุกล้างให้สะอาด ใช้ข้าวบุก 100 กรัม ต่อน้ำ 220 มิลลิลิตร หลังหุงสุกนำไปหาค่าคุณสมบัติของเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็งและค่าความเหนียว วัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุกที่หุงสุกไปชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 17 กรัม เพื่อเตรียมวัดค่า ประกอบหัววัด Rice Extrusion Rig เข้ากับเครื่อง Texture Analyzer และตั้งค่า return distance ที่ 52 มิลลิเมตร return to speed ที่ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นใส่ผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก 17 กรัม ลงในหัววัดทรงกระบอก ไปที่คำสั่ง move probe location เคลื่อนหัววัดไป 55 มิลลิเมตร จากนั้นไปที่ T.A. และกด Run a

test หัววัดจะเริ่มกดลงไป 52 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจะ ถูกดึงขึ้นด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที

3.7 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตข้าวบุกจากสภาวะที่ดีที่สุด

เลือกสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3 มาทำการผลิตเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำข้าวบุกที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นลดลงมาอยู่ในระดับที่สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นฐานเปียก หาต้นทุนในการขึ้นรูปเม็ดข้าวบุกและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์การตัดสินใจในการผลิตการขึ้นรูปเม็ดข้าวบุก ต้องการทราบจำนวนผลผลิตที่จะผลิตแล้วคุ้มทุนนั้น เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจในการผลิต โดยมีกระบวนการผลิตการขึ้นรูปเม็ดข้าวบุก ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แผนผังกระบวนการผลิตการขึ้นรูปเม็ดข้าวบุก

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้วยเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก เพื่อประเมินราคาขายและคำนวณระยะเวลาคืนทุนของเครื่อง สามารถคำนวณได้ดังสมการ 3.3

$$\text{Break Even Point} = \frac{\text{Fixedcost}}{\text{Price} - \text{VariableCosts}} \quad (3.3)$$

เมื่อ Break Even Point คือ ปริมาณที่จุดผลิตคุ้มทุนพอดี
Fixed cost คือ ต้นทุนคงที่
Price คือ ราคาขายต่อหน่วย
Variable Costs คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

3.8 วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของการขายผลิตภัณฑ์ข้าวผสมแป้งบุก

การวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก จะต้องทราบว่าจำนวนผลผลิตที่จะผลิตคุ้มทุนเป็นอย่างไร เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจขาย การขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจขาย การขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก และหาอัตราผลตอบแทนการขายผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก 5 ปี

อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปี ของเงินลงทุน (PWD) มีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปี ของผลประโยชน์ที่ได้รับ (PWB) ในกรณีที่คำนวณโดยใช้ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present worth, PW) ดังสมการที่ 3.4

$$PW_{D,i\%} = PW_{B,i\%} \quad (3.4)$$

ในกรณีที่คำนวณโดยใช้มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Equivalent uniform annual worth, EUAW) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.5

$$EUAW_{D,i\%} = EUAW_{B,i\%} \quad (3.5)$$

โดยกำหนดให้ PW_D คือ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันของเงินลงทุน (บาท)
PW_B คือ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันของผลตอบแทน (บาท)
$EUAW_D$ คือ มูลค่าเทียบเท่ารายปีของเงินลงทุน (บาท)

$EUAW_B$ คือ มูลค่าเทียบเท่ารายปีของผลตอบแทน (บาท)

i % คือ อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปีของเงินลงทุนมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปีของผลประโยชน์ที่ได้รับ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการศึกษาลักษณะใบมีดตัด มุมของคมตัด และความเร็วรอบของใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมขึ้นรูปข้าว เพื่อพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก และวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

ศึกษาลักษณะใบมีดตัด จำนวน 3 แบบ ได้แก่ ใบมีดตัดโค้งหน้า ใบมีดตัดโค้งหลัง และใบมีดตัดตรง (ที่มุมคมตัด 30 องศา) ดังภาพประกอบ 12

ลักษณะใบมีดตัดโค้งหน้า ลักษณะใบมีดตัดโค้งหลัง ลักษณะใบมีดตัดตรง

ภาพประกอบ 12 ลักษณะใบมีดตัด

ศึกษาลักษณะใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมบุกขึ้นรูปข้าว โดยปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 135 รอบ/นาที (100 Hz) ความเร็วรอบของมอเตอร์ลูกรีด 300 รอบ/นาที (65 Hz) ความเร็วรอบของมอเตอร์สกรูลำเลียง 6.63 6.97 และ 7.65 รอบ/นาที สกรูลำเลียงอัดที่จำนวนรูของหัวดายย์ 6 รู ขนาดรูมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เวลาในการผลิต 5 นาที ทำการทดลองเงื่อนไขละ 2 ซ้ำ ที่ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของลักษณะใบมีดตัดต่อกำลังการผลิต

ลักษณะใบมีดตัด	ความเร็วสกรูลำเลียง (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
โค้งหน้า	6.63 (13Hz)	129.7±2.5	2.5±0.7	118.1±0.6	11.6±1.9	1,063.0±0.3
	6.97 (14Hz)	146.8±3.1	2.7±0.1	133.7±4.2	13.1±1.1	1,190.0±8.0
	7.65 (15Hz)	155.3±1.3	2.9±0.3	138.7±6.0	16.6±4.7	1,221.0±3.5
โค้งหลัง	6.63 (13Hz)	140.7±7.5	2.3±0.3	132.2±6.4	8.5±1.1	1,217.0±4.4
	6.97 (14Hz)	178.6±1.5	3.2±0.3	170.6±0.8	7.9±0.6	1,519.0±1.8
	7.65 (15Hz)	179.1±2.0	3.7±0.1	167.6±2.7	11.6±0.7	1,475.0±3.8
ตรง	6.63 (13Hz)	96.1±4.6	3.2±0.4	70.6±1.2	25.5±3.5	615.0±0.4
	6.97 (14Hz)	118.4±3.8	3.6±0.1	90.1±5.5	28.2±1.7	766.0±9.0
	7.65 (15Hz)	142.4±8.2	3.7±0.1	119.2±4.5	23.2±3.6	1,002.0±9.8

จากตารางที่ 3 พบว่าใบมีดตัดโค้งหลัง ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์สกรูลำเลียง 6.97 รอบ/นาที สามารถตัดท่อนแป้งได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกมีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด และอัตราการผลิตเม็ดข้าวต่อ 1 นาที ได้ปริมาณจำนวนเม็ดข้าวบุกสูงสุด เนื่องจากรูปทรงโค้งหลังของใบมีดตัด ปลายมีดจะเรียวแหลมโค้ง พื้นที่ของส่วนที่ใช้ในการตัดจะกว้างขึ้น (ยงยุทธ เสียงดัง, 2555) เมื่อใบมีดหมุนตัดแป้งจึงได้ท่อนแป้งเรียบขาดเสมอกัน และท่อนแป้งที่เหมาะสมตกไปยังกระบวนการรีดขึ้นรูปมีลักษณะคล้ายเมล็ดข้าว มีความยาว 4-7 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร (มาตรฐานสินค้าข้าวไทย, 2555) ส่วนใบมีดตัดโค้งหน้าจะตัดท่อนแป้งได้ปริมาณใกล้เคียงกับใบมีดตัดโค้งหลัง แต่ขึ้นรูปข้าวบุกที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์ได้ปริมาณน้อยกว่า เนื่องจากมีรูปทรงคมตัดลักษณะเว้าเข้าข้างใน ทำให้ใบมีดหมุนตัดแป้งขาดติดกัน จึงได้ข้าวรูปทรงเม็ดสมบูรณ์น้อย และใบมีดตัดตรงมีลักษณะคมตัดตรง เมื่อใบมีดหมุนตัดแป้งทำให้ได้ท่อนแป้งขนาดยาวและท่อนแป้งที่ถูกตัดกระเด็นออกด้านข้าง เมื่อขึ้นรูปจึงได้ลักษณะเม็ดขนาดยาวกว่าข้าวจริง ซึ่งการตัดแป้งขึ้นรูปข้าวของลักษณะใบมีดตัดทั้ง 3 ลักษณะ จะได้ลักษณะเม็ดข้าวบุกดังภาพประกอบ 13

ก) ลักษณะเม็ดข้าวบุกที่ใช้ใบมีดตัดโค้งหน้าตัดขึ้นรูป

ข) ลักษณะเม็ดข้าวบุกที่ใช้ใบมีดตัดโค้งหลังตัดขึ้นรูป

ค) ลักษณะเม็ดข้าวบุกที่ใช้ใบมีดตัดตัดขึ้นรูป

ภาพประกอบ 13 ลักษณะเม็ดข้าวบุกที่ตัดด้วยใบมีดแบบต่าง ๆ

จากภาพประกอบ 13 ใบมีดตัดโค้งหน้าและใบมีดตัดโค้งหลังตัดขึ้นรูปได้ลักษณะเม็ดข้าวบุกสมบูรณ์คล้ายเมล็ดข้าวจริง และลักษณะเม็ดข้าวบุกไม่สมบูรณ์มีขนาดเล็กและยาวปนกันไป ส่วนใบมีดตัดตรงตัดขึ้นรูปได้ลักษณะเม็ดข้าวบุกสมบูรณ์คล้ายเมล็ดข้าวจริงในปริมาณน้อย แต่ได้ลักษณะเม็ดข้าวบุกไม่สมบูรณ์มีเม็ดข้าวยาวปนในปริมาณมาก

4.2 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษามุมของใบตัด

จากการทดลองที่ 1 เลือกศึกษามุมของใบมีดตัดโค้งหลังซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมบุกขึ้นรูปข้าวที่ดีที่สุด ศึกษามุมของคมตัดที่ 30 45 และ 60 องศา ทำการทดลองเหมือนการทดลองที่ 1 ดังข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของมุมคมตัดของใบมีดโค้งหลังต่อกำลังการผลิต

มุมของคมตัด (องศา)	ความเร็วสกรูลำเลียง (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
30	6.63 (13Hz)	141.1±3.5	2.7±1.6	131.2±2.1	9.9±1.4	1,285.0±7.9
	6.97 (14Hz)	179.9±1.2	3.3±0.1	171.3±3.9	8.6±0.8	1,525.0±7.6
	7.65 (15Hz)	174.9±1.8	3.7±0.1	163.1±3.3	11.8±1.5	1,436.0±3.5
45	6.63 (13Hz)	132.7±2.2	1.9±0.1	120.5±1.3	12.2±0.9	1,097.0±2.8
	6.97 (14Hz)	152.4±2.1	2.6±0.1	138.5±3.6	13.8±1.4	1,233.0±3.7
	7.65 (15Hz)	177.8±1.8	3.5±0.2	166.6±1.3	11.2±0.5	1,466.0±1.3
60	6.63 (13Hz)	116.1±5.3	1.2±0.5	102.3±4.1	13.8±1.9	901.0±4.7
	6.97 (14Hz)	137.6±4.9	2.6±0.1	125.5±5.1	12.1±0.8	1,105.0±5.1
	7.65 (15Hz)	156.3±3.0	2.9±0.2	146.6±1.4	9.7±1.5	1,291.0±1.4

จากตารางที่ 4 พบว่าใบมีดตัดโค้งหลัง มุมของคมตัดที่ 30 องศา ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์สกรูลำเลียง 6.97 รอบ/นาที สามารถตัดท่อนแป้งได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกมีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด และอัตราการผลิตเม็ดข้าวต่อ 1 นาที ได้ปริมาณจำนวนเม็ดข้าวบุกสูงสุด เนื่องจากมุมเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงในการตัดท่อนแป้ง มุมของคมตัดที่ 30 องศา มีลักษณะคมตัดแหลมและมีพื้นที่ความชันหน้าตัดน้อย (ยงยุทธ เสียงดัง, 2555) ทำให้ตัดท่อนแป้งขาดและท่อนแป้งไม่ติดกัน เมื่อขึ้นรูปได้ท่อนแป้งมีลักษณะคล้ายเมล็ดข้าว มีความยาว 4-7 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร (มาตรฐานสินค้าข้าวไทย, 2555) ส่วนมุมของคมตัดที่ 45 และ 60 องศา ซึ่งเป็นมุมที่มีพื้นที่หน้าตัดกว้าง ทำให้ตัดท่อนแป้งได้ลักษณะแป้งขาดติดกัน ถ้ามุมมีดมีค่ายิ่งมากแรงที่ใช้ในการตัดก็จะมากขึ้น จะทำให้ท่อนแป้งที่ถูกตัดกระเด็นออกด้านข้าง ท่อนแป้งตกไปยังกระบวนการรีดได้น้อยไม่สม่ำเสมอ จึงได้ลักษณะเม็ดข้าวบุกรูปทรงยาวและสูญเสียมาก

4.3 ผลการทดลองที่ 3 ศึกษาความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

จากการทดลองที่ 2 เมื่อได้ใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมบุกขึ้นรูปข้าวที่ดีที่สุดแล้ว ศึกษาความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 4 ระดับ คือ 135, 145, 155 และ 165 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์สกรูลำเลียง 6.97 รอบ/นาที เพื่อดูกำลังการผลิต (ทำการทดลองเหมือนการทดลองที่ 1) ดังข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของการปรับเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัดต่อกำลังการผลิต

ความเร็วรอบมอเตอร์ใบมีด (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
135	179.8±1.2	3.3±0.1	171.2±0.9	8.6±0.8	1524.3±18.6
145	207.5±2.8	3.4±0.1	198.8±1.7	8.6±0.4	1,790.0±60.0
155	196.6±3.5	3.6±0.1	183.8±3.8	9.3±0.5	1,658.0±13.0
165	175.1±3.9	3.4±0.3	165.9±1.3	9.2±0.7	1,460.0±37.0

จากตารางที่ 5 พบว่าเมื่อปรับเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัดที่ 145 รอบ/นาที ได้ปริมาณเม็ดข้าวบุกมีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด และอัตราการผลิตเม็ดข้าวต่อ 1 นาที ได้ปริมาณจำนวนเม็ดข้าวบุกสูงสุด เนื่องจากความเร็วรอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการตัดท่อนแป้งได้ปริมาณมากขึ้น (ยงยุทธ เสียงดัง, 2555) และเมื่อปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเป็น 155 และ 165 รอบ/นาที ได้ปริมาณน้ำหนักแป้งเพิ่มขึ้นแต่ยังน้อยกว่าความเร็วรอบ 145 รอบ/นาที เนื่องจากความเร็วรอบที่เพิ่มทำให้โมเมนต์ของแรงในการตัดเพิ่มมากขึ้น ท่อนแป้งที่ถูกตัดขาดติดกันและกระเด็นออกด้านข้าง จึงได้ปริมาณเม็ดแป้งลดลง และอัตราความเร็วรอบของสกรูลำเลียงที่คงที่ป้อนแป้งออกจากหัวดายย์ ไม่ทำให้ปริมาณแป้งที่ถูกป้อนเพิ่มขึ้น จึงได้ปริมาณน้ำหนักแป้งน้อย

เมื่อได้ความเร็วรอบของใบมีดตัดที่มีความเหมาะสมสำหรับตัดแป้งผสมบุกขึ้นรูปข้าว คือ 145 รอบ/นาที แล้วทำการผลิตข้าวขึ้นรูป 1 ชั่วโมง เพื่อดูกำลังการผลิต ได้น้ำหนักดังนี้ แป้งทั้งหมด 2,489.67 กรัม แป้งที่หล่นไปข้างหลัง 41.23 กรัม ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ 2,386.01 กรัม ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ 103.66 กรัม

4.4 ผลการทดลองที่ 4 ศึกษาคุณภาพข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก

จากผลการทดลองที่ 3 ความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัดได้กำลังการผลิตสูงสุด คือ ความเร็วรอบ 145 รอบ/นาที ขึ้นรูปข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ได้น้ำหนัก 2,386.01 กรัม เมื่อนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะเหลือน้ำหนักผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก 1,065.80 กรัม นำมาวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปแป้งผสมบุก ผลการทดลองดังต่อนี้

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* C และ hue angle ของผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปแป้งผสมบุกอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และข้าวกล้อง ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าสี L* a* b* C และ hue angle

ข้าว	ค่าสี L* a* b* C และ hue angle				
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	C^{ns}	hue angle^{ns}
ข้าวผสมแป้งบุก	87.61±0.02	0.87±0.01	10.95±0.02	10.99±0.02	85.45±0.03
ข้าวกล้อง	87.29±0.01	0.92±0.01	12.34±0.04	12.38±0.04	85.73±0.04

หมายเหตุ : ns หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS

จากผลการทดลอง พบว่าข้าวผสมแป้งบุกและข้าวกล้องมีค่าสี L* a* b* ค่า Hue angle และค่า Chroma ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งหมายความว่าข้าวทั้งสองประเภทมีค่าใกล้เคียงกันมีค่าไปทางสีเหลือง ดังภาพประกอบ 14

ก) ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก ข) ข้าวกล้อง

ภาพประกอบ 14 ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกและข้าวกล้อง

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งและค่าความเหนียว

วิเคราะห์ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุกหลังการหุงสุก ดังแสดงภาพประกอบ 15 และข้าวกล้องหลังการหุงสุก

ภาพประกอบ 15 ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกหลังการหุงสุก

ตารางที่ 7 ค่าความแข็งและความเหนียว

ข้าว	ค่าความแข็ง** (kg)	ค่าความเหนียว** (kg)
ข้าวผสมแป้งบุก	15.26±1.37	-2.77±0.28
ข้าวกล้อง	33.70±1.00	-5.85±0.86

** แสดงว่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$ จากการวิเคราะห์ด้วย t-test วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS

จากผลการทดลอง พบว่าข้าวผสมแป้งบุกและข้าวกล้องมีค่าความแข็งและความเหนียวแตกต่างกันทางสถิติ ข้าวผสมแป้งบุกมีค่าความแข็งต่ำกว่าข้าวกล้อง เนื่องจากข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกมีอัตราส่วนผสมของผงบุก แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เมื่อนำมาหุงสุกทำให้มีการดูดซับน้ำเข้าไปได้ง่าย จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุกมีค่าความแข็งต่ำ และค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุกลดลง

4.5 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองการขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก พบว่าใบมีดตัดโค้งหลัง มุม 30 องศา ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 145 รอบ/นาที ได้กำลังการผลิตสูงสุด และนำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องขึ้นรูปข้าวในการขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุกเพื่อนำออกขาย คำนวณระยะเวลาคืนทุนของเครื่อง และอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน

โดยต้นทุนคงที่คือ ราคาเครื่องขึ้นรูปข้าว 200,000 บาท และคิดค่าซ่อมบำรุงเครื่องเป็น 5% ของราคาเครื่องในทุกปี ผลผลิตของบุกและข้าวกล้อง ช่วงเก็บเกี่ยวในฤดู ตั้งแต่เดือนเมษายน – เดือนตุลาคม เป็นระยะเวลา 7 เดือน หรือ 210 วัน บุกและข้าวกล้องจะให้ผลผลิตมาก ในการขึ้นรูปข้าวในแต่ละครั้งใช้เวลาการผลิต 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนผสมแป้งบุก 200 กรัม แป้งข้าวกล้อง 700 กรัม แป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม แป้งมันฝรั่ง 50 กรัม และน้ำ 1,100 มิลลิลิตร จะขึ้นรูปข้าวเม็ดสมบูรณ์ได้น้ำหนัก 2,386.01 กรัม เมื่อนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะเหลือน้ำหนักผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก 1,065.80 กรัม จะได้ต้นทุนแปรผันในการขึ้นรูปข้าว ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ต้นทุนแปรผันในการขึ้นรูปข้าวแต่ละวัน

ต้นทุน	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	รวม (บาท)
ค่าแป้งบุก	200 g	990 บาทต่อ 1 กิโลกรัม	198
ค่าข้าวกล้อง	700 g	60 บาทต่อ 1 กิโลกรัม	42
ค่าแป้งมันสำปะหลัง	50 g	16 บาทต่อ 500 กรัม	1.60
ค่าแป้งฝรั่ง	50 g	25 บาทต่อ 200 กรัม	6.25
ค่าน้ำ	1,100 ml	15 บาทต่อ 15,000 ml	1.80
ค่าไฟฟ้า	3.20 kW-h	4 บาท ต่อ หน่วย	12.80
	รวมต้นทุนแปรผัน		262.45
ค่าแรง	1 คน	300 บาท ต่อ 1 วัน	300
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (ใน 1 วัน ทำการขึ้นรูปข้าวได้ 4 ครั้ง)			1,349.80

ในแต่ละวันทำการขึ้นรูปข้าวได้ 4 ครั้ง มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 1,349.80 บาท ได้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก 4.26 กิโลกรัมต่อวัน ต้นทุนแปรผันหารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปที่ได้ต่อวันเท่ากับ 316.85 บาทต่อกิโลกรัม โดยกำหนดราคาขายผลิตภัณฑ์ดังนี้ 400 500 600 และ 700 บาท คำนวณมูลค่าผลผลิตภายใน 1 ปี ในแต่ละปีจะขึ้นรูปข้าวใช้เวลา 210 วัน จะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก 894.60 กิโลกรัม ดังแสดงในตาราง 9

ตารางที่ 9 รายได้จาการขายและราคาขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกระยะเวลา 1 ปี

ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อ 1 กิโลกรัม (บาท)	รายได้จากการขาย (บาท)
400	357,840
500	447,300
600	536,760
700	626,220

คำนวณค่าใช้จ่ายภายในแต่ละปีดังนี้ เครื่องขึ้นรูปข้าวราคา 200,000 บาท คิดค่าซ่อมบำรุง 5% ของราคาเครื่องอบแห้ง คือ 10,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แต่ละวันคูณด้วยจำนวนวันที่ทำการผลิตเท่ากับ 283,458 บาท รวมค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และค่าซ่อมบำรุง

ในแต่ละปี คือ 293,458 บาท เมื่อนำราคาที่ได้จากการขายไปหักลบกับค่าใช้จ่ายก็จะได้กำไร ดังแสดงในตาราง 10

ตารางที่ 10 กำไรสุทธิในแต่ละปี

ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อ 1 กิโลกรัม (บาท)	กำไรสุทธิในแต่ละปี (บาท)
400	64,382
500	153,842
600	243,302
700	332,762

คำนวณระยะเวลาคืนทุนโดยไม่คิดอัตราดอกเบี้ยที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการลงทุนในแต่ละปี ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ข้าวบุกเพื่อออกวางขาย จะคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนทำได้โดยการนำมูลค่าเครื่อง 200,000 บาท ไปหารกับรายได้จาการขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปภายในระยะเวลาเป็นปี ก็จะทราบระยะเวลาการคืนทุนของการใช้เครื่องขึ้นรูปข้าวออกวางขายในราคาต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 11

ตารางที่ 11 ระยะเวลาคืนทุนในการขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุกราคาต่าง ๆ

ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อ 1 กิโลกรัม (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
400	3.10
500	1.30
600	0.82
700	0.60

หาอัตราผลตอบแทนภายในการลงทุน โดยกำหนดอายุโครงการ 5 ปี ราคาเครื่องขึ้นรูปข้าว 200,000 บาท กำหนดราคาขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปกิโลกรัมละ 400 500 600 และ 700 บาท ดังแสดงในตาราง 12

ตารางที่ 12 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) ของรายได้จากการขายของราคาต่าง ๆ

ราคาขายผลิตภัณฑ์ (บาท)	กำไรสุทธิในแต่ละปี (บาท)	ร้อยละอัตราผลตอบแทนภายใน
400	64,382	18
500	153,842	72
600	243,302	119
700	332,762	165

จากตาราง 12 พบว่าการขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก ที่อายุโครงการ 5 ปี เลือกขายผลิตภัณฑ์ราคา 400 บาทต่อกิโลกรัม ได้อัตราผลตอบแทนภายในการลงทุนร้อยละ 18 แสดงให้เห็นว่าอัตราผลตอบแทนภายในเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจลงทุนขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก เนื่องจากอัตราผลตอบแทนที่คำนวณจากโครงการสูงกว่า MARR 6% (ใช้ข้อมูลดอกเบี้ยเงินกู้ ดอกเบี้ยเงินฝาก และความต้องการของผู้ลงทุน เป็นตัวกำหนด) ดังนั้นโครงการนี้น่าลงทุน ซึ่งปกติแล้ว IRR จะอยู่ที่ 14-18% จึงจะมีโอกาสได้กำไร (ไพบูลย์ แย้มเพื่อน , 2548)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาลักษณะใบมีดตัด มุมของคมตัด และความเร็วรอบของใบมีดตัดที่สำหรับตัดแป้งผสมบุก เพื่อพัฒนาเครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก วิเคราะห์คุณภาพสี ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ สามารถสรุปผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

5.1 ลักษณะใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

จากการศึกษาลักษณะใบมีดตัด จำนวน 3 แบบ ได้แก่ ใบมีดตัดโค้งหน้า ใบมีดตัดโค้งหลัง และใบมีดตัดตรง ต่อกำลังการผลิตปริมาณข้าวขึ้นรูปที่มีรูปทรงเป็นเม็ดสมบูรณ์ รูปทรงเม็ดไม่สมบูรณ์ และแป้งที่ไม่ผ่านการรีด (แป้งที่หล่นข้างหลังชุดลูกรีด) พบว่า ใบมีดตัดโค้งหลังสามารถตัดท่อนแป้งได้ปริมาณเม็ดข้าวที่มีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด ส่วนใบมีดตัดโค้งหน้าและใบมีดตัดตรงตัดท่อนแป้งได้ปริมาณเม็ดข้าวมีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์น้อยลงตามลำดับ และมีการสูญเสียมากกว่าใบมีดตัดโค้งหลัง

5.2 มุมของใบตัด

จากการศึกษามุมของคมตัดที่ 30 45 และ 60 องศา พบว่า มุมของคมตัดที่ 30 องศา สามารถตัดท่อนแป้งได้ปริมาณเม็ดข้าวมีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด

5.3 ความเร็วรอบของใบมีดตัดสำหรับตัดแป้งผสมบุก

จากการศึกษาความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 4 ระดับ คือ 135 145 155 และ 165 รอบ/นาที พบว่า ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัดที่ 145 รอบ/นาที ได้ปริมาณเม็ดข้าวที่มีรูปทรงข้าวเม็ดสมบูรณ์มากที่สุด

5.4 คุณภาพข้าวขึ้นรูปจากแป้งผสมบุก

พบว่า ค่าสี L*a*b* ค่า Hue angle และค่า Chroma ของข้าวผสมแป้งบุกและข้าวกล้องไม่แตกต่างกันทางสถิติ ค่าความแข็งและความเหนียวของข้าวผสมแป้งบุกหุงสุกมีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.5 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

พบว่าการขายผลิตภัณฑ์ข้าวขึ้นรูปผสมแป้งบุก ที่อายุโครงการ 5 ปี ขายผลิตภัณฑ์ราคา 400 บาทต่อกิโลกรัม ได้อัตราผลตอบแทนภายในการลงทุนร้อยละ 18

บรรณานุกรม

กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และคณะ. 2559. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชเพื่อสุขภาพ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม – ธันวาคม 2559. 13 หน้า.

กำพล หล่มวงศ์ และธวัชชัย จิตเกษมสกุล. 2562. การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปเลียนแบบข้าวผสมผงบุก. ปริญญานิพนธ์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

จาตุพงศ์ วาฤทธิ์. 2547. เอกสารประกอบการสอนวิชาสมบัติทางกายภาพของผลผลิตเกษตร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. [Online], Available: https://sites.google.com/site/ea340properties/. [25 August 2021].

จรวยพร แสนทวีสุข และคณะ. 2557. การวิเคราะห์ความเสียหายของใบตัดในเครื่องตัดเศษพลาสติก Failure Analysis of the Cutting Blades in the Plastic Scrap Cutting Machine. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2557 วันที่ 30-31 ตุลาคม สมุทรปราการ.

ชัยฤกษ์ สงวนทรัพยากร. 2530. บุกญี่ปุ่น “คอนเนียคุ”. วารสารพืชสวน. 21: 25-26.

ชูสิทธิ์ หงส์กุลทรัพย์. 2549. การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายและการประยุกต์ใช้ ในการยืดอายุการเก็บรักษาชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ. 2556. โครงการการผลิตผงบุกกลูโคแมนแนนคุณภาพสูงและการนำไปใช้. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. 104 หน้า.

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ. 2557. ฟิล์มย่อยสลายได้ที่มีหน้าที่เฉพาะจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ. รายงานฉบับสมบูรณ์ของการวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ. 148 หน้า.

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ. 2559. คู่มือการใช้ประโยชน์จากบุก. โครงการการจัดทำมาตรฐานผงบุกและการนำไปใช้ในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อาหารและสมุนไพร. 35 หน้า.

ธัญสุดา คำดี และ ภัทรนันท์ เที่ยงมา. 2562. การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบข้าวจากแป้งบุก. ปริญญานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. หน้า 28.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ณัชชากร วรสาร , นภภัค ใจภักดีและเอกพล ลิ้มพงษา. 2560. การเตรียมและประเมินผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่มีส่วนผสมของกลูโคแมนแนน. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ วันที่ 10 มีนาคม 2560 ณ อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นริศรา มหาธนินวงศ์ และคณะ. 2559. ใบมีดกรีดยางสำหรับเครื่องกรีดยางอัตโนมัติ. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2559. 9 หน้า.

ดุสิต ธรรมแสง. 2545. การใช้ใบมีดตัดของกระบวนการตัดแต่งไม้ยางพาราแปรรูปของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2552. Extruder / เอ็กซ์ทรูเดอร์ [Online], Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0689/extruder. [25 August 2021].

ไพบูลย์ แย้มเพื่อน. 2548. อัตราผลตอบแทนการลงทุน. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: เอเซียเพรส; 2548.

มาตรฐานสินค้าข้าวไทย. 2555. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [Online], Available: https://www.acfs.go.th/#/. [25 August 2021].

ยงยุทธ์ เสียงดัง และคณะ. 2551. การศึกษามุมใบมีดของเครื่องตนแบบกรีดยางพาราแบบใชมอเตอร์ไฟฟา. การประชุมวิชาการเครือขายวิศวกรรมเครื่องกลแหงประเทศไทยครั้งที่ 22 15 ตุลาคม ถึง 17 ตุลาคม 2551 (236-239).

วิเชียร ชัยสถาพร และคณะ. 2553. การพัฒนาใบมีดตัดสำหรับเครื่องตัดเนื้อปลาแผ่นอบแห้ง. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2553 (25-30).

ศุภโชค วิริยโกศล. 2542. การตัดโลหะ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

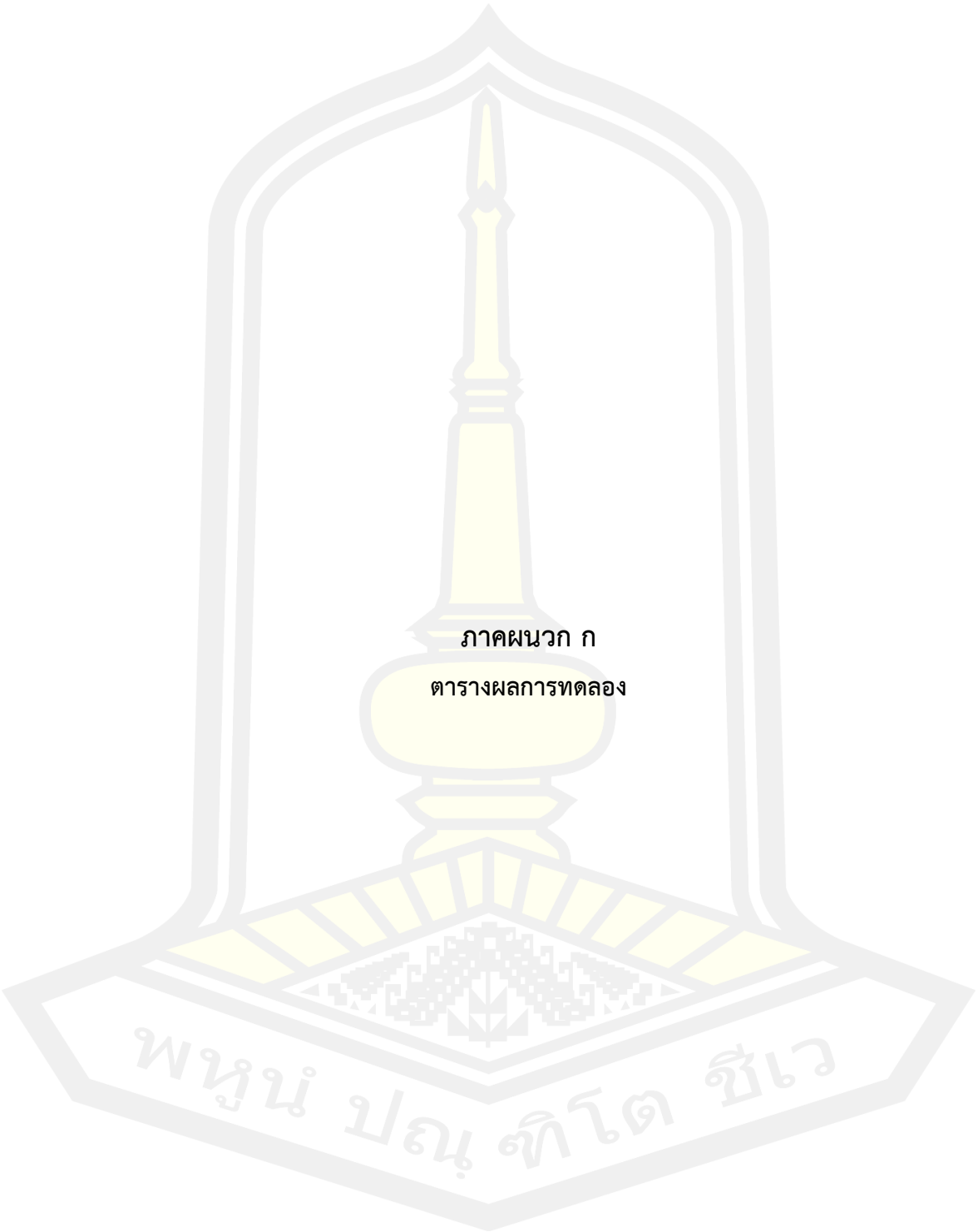
Lu, M., Li, Z., Liang, H., Shi, M., Zhao, L., Li, W., Chen, Y., Wu, J., Wang, S., Chen, X., Yuan, Q., Li, Y. (2015). Controlled release of anthocyanins from oxidized konjac glucomannan microspheres stabilized by chitosan oligosaccharides. Food Hydrocolloids, 51, 476-485.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Wang, R., Xia, B., Li, B.J., Peng, S.L., Ding, L.S., Zhang, S. (2008). Semi-permeable nanocapsules of konjac glucomannan– chitosan for enzyme immobilization. International Journal of Pharmaceutics, 364(1), 102-107.

Wen, X., Wang, T., Wang, Z., Li, L. and Zhao, C. (2008). Preparation of konjac glucomannan hydrogels as DNA-controlled release matrix. International Journal of Biological Macromolecules, 42 (3), 256-263.

Wu, J. and Zhong, Q. (2016). Encapsulation of konjac glucomannan in oil droplets to reduce viscosity of aqueous suspensions and gradually increase viscosity during simulated gastric digestion. Journal of Food Engineering, 175, 104-107.



ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลของลักษณะใบมีดตัดต่อกำลังการผลิต

ลักษณะใบมีดตัด	ความเร็วสกรูลำเลียง (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
โค้งหน้า	6.63 (13Hz) รอบ1	131.39	2.97	118.45	12.94	1,078.40
	6.63 (13Hz) รอบ2	127.92	1.96	117.65	10.27	1,048.50
	ค่าเฉลี่ย	129.65	2.46	118.05	11.60	1,063.45
โค้งหน้า	6.97 (14Hz) รอบ1	144.61	2.56	130.69	13.92	1,183.16
	6.97 (14Hz) รอบ2	148.98	2.75	136.66	12.32	1,198.06
	ค่าเฉลี่ย	146.79	2.65	133.67	13.12	1,190.61
โค้งหน้า	7.65 (15Hz) รอบ1	154.36	2.64	134.48	19.88	1,210.94
	7.65 (15Hz) รอบ2	156.25	3.12	142.98	13.27	1,233.02
	ค่าเฉลี่ย	155.30	2.88	138.73	16.57	1,221.98
โค้งหลัง	6.63 (13Hz) รอบ1	145.99	2.55	136.72	9.27	1,224.78
	6.63 (13Hz) รอบ2	135.45	2.08	127.67	7.78	1,210.30
	ค่าเฉลี่ย	140.72	2.31	132.19	8.52	1,217.54

ลักษณะใบมีดตัด	ความเร็วสกรูลำเลียง (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
โค้งหลัง	6.97 (14Hz) รอบ1	177.57	3.45	170.03	7.54	1,517.24
	6.97 (14Hz) รอบ2	179.66	3.04	171.23	8.43	1,520.48
	ค่าเฉลี่ย	178.61	3.24	170.63	7.98	1,519.02
โค้งหลัง	7.65 (15Hz) รอบ1	177.69	3.74	165.65	12.04	1,471.72
	7.65 (15Hz) รอบ2	180.56	3.56	169.48	11.08	1,479.70
	ค่าเฉลี่ย	179.12	3.65	167.56	11.56	1,475.71
ตรง	6.63 (13Hz) รอบ1	99.42	3.48	71.45	27.97	617.02
	6.63 (13Hz) รอบ2	92.86	2.98	69.78	23.08	614.66
	ค่าเฉลี่ย	96.14	3.23	70.61	25.52	615.84
ตรง	6.97 (14Hz) รอบ1	115.68	3.68	86.21	29.47	760.70
	6.97 (14Hz) รอบ2	121.06	3.56	94.04	27.02	772.56
	ค่าเฉลี่ย	118.36	3.62	90.12	28.24	766.63
ตรง	7.65 (15Hz) รอบ1	136.64	3.82	116.02	20.62	997.39
	7.65 (15Hz) รอบ2	148.22	3.67	122.44	25.78	1,007.21
	ค่าเฉลี่ย	142.43	3.74	119.23	23.20	1,002.30

ตารางที่ ก.2 ผลของมุมคมตัดของใบมีดโค้งหลังต่อกำลังการผลิต

มุมของคมตัด (องศา)	ความเร็วสกรูลำเลียง (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
30	6.63 (13Hz) รอบ1	143.62	2.85	132.65	10.97	1,291.05
	6.63 (13Hz) รอบ2	138.66	2.63	129.66	9.00	1,279.67
	ค่าเฉลี่ย	141.14	2.74	131.15	9.98	1,285.36
30	6.97 (14Hz) รอบ1	179.04	3.40	171.01	8.03	1527.86
	6.97 (14Hz) รอบ2	180.74	3.21	171.56	9.18	1,522.98
	ค่าเฉลี่ย	179.89	3.30	171.28	8.60	1,525.42
30	7.65 (15Hz) รอบ1	176.20	3.65	165.48	10.72	1,438.18
	7.65 (15Hz) รอบ2	173.59	3.83	160.77	12.82	1,435.08
	ค่าเฉลี่ย	174.89	3.74	163.12	11.77	1,436.63
45	6.63 (13Hz) รอบ1	131.20	1.97	119.65	11.55	1,095.03
	6.63 (13Hz) รอบ2	134.25	1.88	121.44	12.81	1,099.11
	ค่าเฉลี่ย	132.72	1.92	120.54	12.18	1,097.07

มุมของคมตัด (องศา)	ความเร็วสกรูลำเลียง (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
45	6.97 (14Hz) รอบ1	153.88	2.48	141.02	12.86	1,235.78
	6.97 (14Hz) รอบ2	150.87	2.69	135.98	14.89	1,231.08
	ค่าเฉลี่ย	152.37	2.58	138.50	13.87	1,233.28
45	7.65 (15Hz) รอบ1	176.52	3.4	165.65	10.87	1,466.26
	7.65 (15Hz) รอบ2	179.11	3.69	167.54	11.57	1,467.02
	ค่าเฉลี่ย	177.81	3.54	166.59	11.22	1,466.64
60	6.63 (13Hz) รอบ1	112.42	0.89	99.44	12.98	897.37
	6.63 (13Hz) รอบ2	119.87	1.55	105.22	14.65	905.81
	ค่าเฉลี่ย	116.14	1.22	102.33	13.81	901.59
60	6.97 (14Hz) รอบ1	134.57	2.48	121.88	12.69	1,102.23
	6.97 (14Hz) รอบ2	140.63	2.62	129.11	11.52	1,109.01
	ค่าเฉลี่ย	137.60	2.55	125.49	12.10	1,105.62
60	7.65 (15Hz) รอบ1	158.4	2.99	147.65	10.75	1,292.14
	7.65 (15Hz) รอบ2	154.22	2.71	145.60	8.62	1,290.30
	ค่าเฉลี่ย	156.31	2.85	146.62	9.68	1,291.22

ตารางที่ ก.3 ผลของการปรับเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัดต่อกำลังการผลิต

ความเร็วรอบมอเตอร์ใบมีด (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
135 รอบ1	179.04	3.40	171.01	8.03	1527.86
135 รอบ2	180.74	3.21	171.56	9.18	1,522.98
ค่าเฉลี่ย	179.89	3.30	171.28	8.60	1,525.42
ค่า S.D.	1.20	0.13	0.93	0.81	18.64
145 รอบ1	205.48	3.46	197.60	8.32	1747.02
145 รอบ2	209.44	3.40	200.06	8.94	1831.92
ค่าเฉลี่ย	207.46	3.43	198.83	8.63	1,790.47
ค่า S.D.	2.80	0.04	1.74	0.44	0.03
155 รอบ1	199.04	3.72	186.49	9.63	1666.47
155 รอบ2	194.14	3.54	181.11	8.95	1647.61
ค่าเฉลี่ย	196.59	3.63	183.80	9.29	1,658.04
ค่า S.D.	3.46	0.13	3.80	0.48	13.34

ความเร็วรอบมอเตอร์ใบมีด (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
165 รอบ1	177.85	3.58	166.84	9.67	1486.44
165 รอบ2	172.33	3.22	164.96	8.71	1433.40
ค่าเฉลี่ย	175.09	3.40	165.90	9.19	1,460.34
ค่า S.D.	3.90	0.25	1.33	0.68	37.50

ตารางที่ ก.4 ผลของการปรับเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ใบมีดตัด 145 รอบ/นาที เวลาการผลิต 1 ชั่วโมง

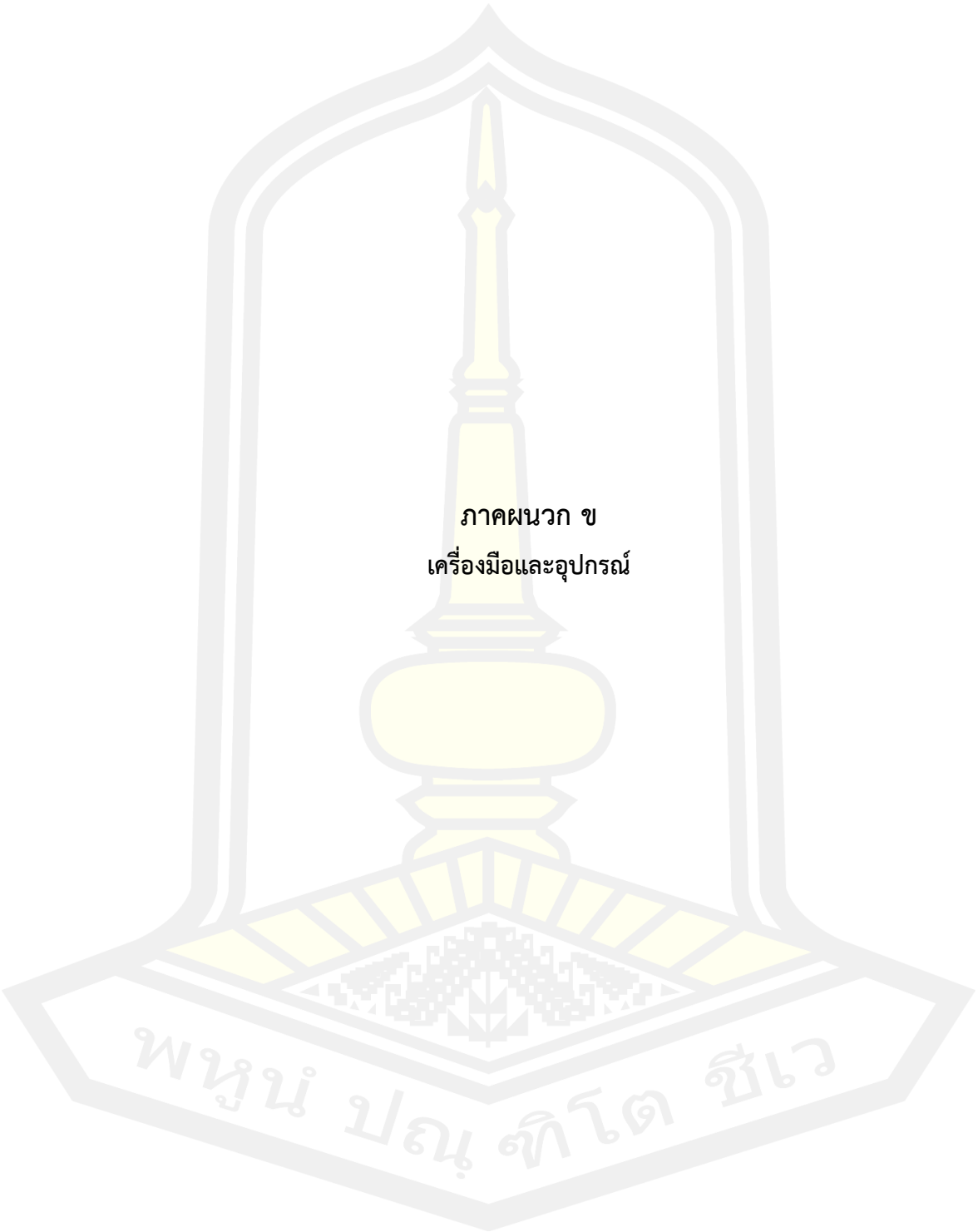
ความเร็วรอบมอเตอร์ใบมีด (รอบ/นาที)	น้ำหนักแป้งทั้งหมด (กรัม)	แป้งที่หล่นไปข้างหลัง (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดสมบูรณ์ (กรัม)	ข้าวบุกเม็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เม็ด/นาที
135 (เดิม)	2,158.68	39.60	2,055.36	103.20	1,525
145	2,489.67	41.23	2,386.01	103.66	1,790

ตารางที่ ก.5 ค่าสี L* a* b* C และ hue angle

ข้าว	รอบที่	ค่าสี L* a* b* C และ hue angle				
		L*	a*	b*	C	hue angle
ข้าวผสมแป้งบุก	1	87.28	0.88	10.97	11.00	85.41
	2	87.3	0.87	10.97	11.00	85.46
	3	87.31	0.87	10.93	10.96	85.44
	ค่าเฉลี่ย	87.61	0.87	10.95	10.99	85.45
	ค่า S.D.	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03
ข้าวกล้อง	1	87.6	0.92	12.39	12.42	85.75
	2	87.61	0.93	12.33	12.36	85.68
	3	87.62	0.92	12.32	12.35	85.72
	ค่าเฉลี่ย	87.29	87.61	0.92	12.34	85.73
	ค่า S.D.	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04

ตารางที่ ก.6 ค่าความแข็งและความเหนียวของข้าวหลังการหุงสุก

ข้าว	รอบที่	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว (kg)
ข้าวผสมแป้งบุก	รอบที่ 1	16.068	-2.913
	รอบที่ 2	13.864	-2.382
	รอบที่ 3	13.689	-3.149
	ค่าเฉลี่ย	15.26	-2.77
	ค่า S.D.	1.37	0.28
ข้าวกล้อง	รอบที่ 1	32.278	-6.655
	รอบที่ 2	34.201	-6.076
	รอบที่ 3	33.061	-6.248
	ค่าเฉลี่ย	33.70	-5.85
	ค่า S.D.	1.00	0.86



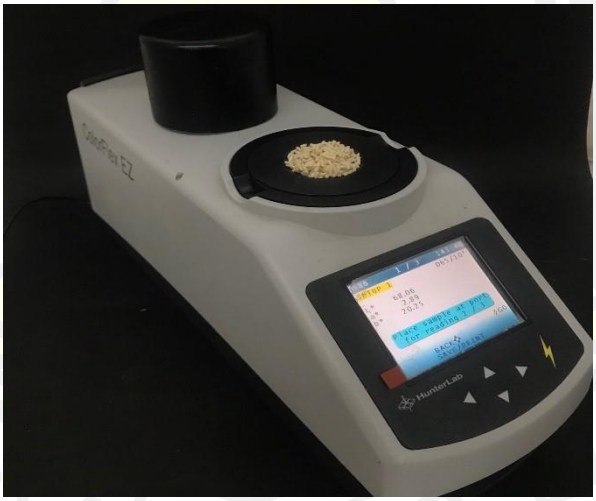
ภาคผนวก ข
เครื่องมือและอุปกรณ์

ภาพประกอบ ข.1 เครื่องขึ้นรูปข้าวผสมแป้งบุก

ภาพประกอบ ข.2 เครื่องปั่นผสมแป้ง

ภาพประกอบ ข.3 เครื่องอบลมร้อน

ภาพประกอบ ข.4 เครื่องวัดค่าสี



ภาพประกอบ ข.5 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวปิ่นมณี บัวศรี

วันเกิด 7 พฤษภาคม 2538

สถานที่เกิด อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 12 หมู่ 13 บ้านโปโล ตำบลกมลาไสย อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์ 46130

ตำแหน่งหน้าที่การงาน ครูอัตราจ้าง

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ถนนอรรถเปศล ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์

พ.ศ. 2561 ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม