



รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการอบเพื่อยับยั้งการ
เจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามเปรี้ยวและการศึกษาปัจจัยที่
ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา

Development of a Feedback Control System in Baking
Process to Inhibit the Growth of Microorganisms in Sour
Tamarind and to Study Factors Affecting Shelf Life
Extension.

ธนภัทร มะณีแสง

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ทุนอุดหนุนงานวิจัย งบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์
วิจัยและนวัตกรรม (สกว) ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการอบเพื่อยับยั้งการ
เจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามเปรี้ยวและการศึกษาปัจจัยที่
ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา

Development of a feedback control system in baking
process to inhibit the growth of microorganisms in sour
tamarind and to study factors affecting shelf life
extension.

ธนภัทร มะณีแสง

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม

ทุนอุดหนุนงานวิจัย งบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์
วิจัยและนวัตกรรม (สกว) ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

ชื่องานวิจัย	การพัฒนาระบบการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการอบเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามเปรี้ยวและการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา
ผู้วิจัย	ธนภัทร มะณีแสง
ผู้ร่วมวิจัย/ที่ปรึกษา	วิทยา หนูช่างสิงห์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการผลิต
	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุให้กับมะขามเปรี้ยวอัดก้อน โดยประยุกต์ใช้ระบบการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการอบด้วยความร้อนในโรงเรือนระบบปิด เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของเนื้อมะขาม และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา โดยการทดลองตั้งแต่เริ่มอัดก้อนจนถึงการบรรจุภัณฑ์จะอยู่ในภายในโรงเรือนที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันเชื้อโรคจากภายนอกเข้ามาปะปนในผลิตภัณฑ์ การออกแบบและพัฒนาสามารถทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้เครื่องจักรสามารถอบมะขามเปรี้ยวอัดก้อนได้ถึง 50 กิโลกรัม และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในรูปแบบที่ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 65 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถลดเวลาอบได้สั้นลง ประมาณ 3 ชั่วโมงครึ่งจากวิธีการตากแดด ส่วนในช่วงเวลากลางคืนสามารถทำงานได้โดยใช้พลังงานต่ำกว่าตู้อบทั่วไป จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยของพัลคมการกระจายความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยการปรับความเร็วลมความร้อนที่ความเร็วระดับที่ 1 มีผลมากที่สุด ซึ่งสามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจน โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 ซึ่ง จากกราฟผลกระทบทหลักพบว่าควรปรับค่าความเร็วใบพัดลมสำหรับกระจายความร้อนและพัลคมดูดความชื้นไว้ที่ระดับที่ 1 เนื่องจาก ในระดับที่ 1

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง กลุ่มวิสาหกิจชุมชน มะขามเปรี้ยวอัดก้อน

Title	Development of a Feedback Control System in Baking Process to Inhibit the Growth of Microorganisms in Sour Tamarind and to Study Factors Affecting Shelf Life Extension.
Author	Thanapat Maneesaeng
Co-Researcher	Wittaya Nuchangsing
Branch	Production Technology Phetchabun Rajabhat University

Abstract

This research aimed to extend the life of the tamarind cubes. By applying the feedback control system in the heat treatment process in closed houses. To inhibit the growth of microorganisms without affecting the quality of the tamarind meat and to study the factors affecting the shelf life of the product, including the temperature and the appropriate baking time to inhibit the growth of microorganisms. Including other factors that affect to extend the shelf life Experiments from briquetting to packaging are placed in houses designed to prevent external pathogens from entering the product. The design and development enable the machine to function as intended, the machine can bake up to 50 kg of briquette tamarind and the system can work efficiently. In both forms that do not require electricity Can make the temperature up to 65 degrees Celsius, which can reduce the baking time shorter by about 3 and a half hours from the sun drying method. During the night can work with lower energy consumption than conventional incubators. Based on the analysis of fan factor variance, heat dissipation resulted in the mean heat gain increase of 95% confidence, with the adjustment of the thermal air speed at level 1 with the greatest effect. The results can be clearly seen with a P-Value of 0.001, which from the main effect graph, it was found that the fan blade speed for heat dissipation and desiccant fan should be adjusted at level 1 because at level 1

Keywords: Design of Experiment, Communal Venture, SugarTopped with Tamarind

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัย ราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้และขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา งบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรม (สกว) ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

ธนภัทร มะณีแสง

29 ธันวาคม 2563

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	7
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	8
1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการ.....	8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 การแปรรูปมะขาม	10
2.2 การอบแห้ง	11
2.3 มะขามเปรี้ยว.....	13
2.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimen: DOE).....	16
2.5 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ 3^k	19
2.6 โปรแกรม Minitab	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 การออกแบบตู้อบต้นแบบและระบบระบบการควบคุมป้อนกลับเพื่อส่งความร้อนกลับเข้าสู่ตู้อบ.....	26
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนและการกระจายความร้อนในตู้อบระบบการควบคุมป้อนกลับ.....	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	38
4.1 ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรต้นแบบ	38
4.2 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบการควบคุมความชื้น.....	39
4.3 ผลลัพธ์การทดสอบสมรรถนะตู้อบควบคุมความร้อนควบคุมความชื้น.....	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	44
5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ	45
5.3 แนวทางการแก้ปัญหา.....	45
5.4 แนวทางในการพัฒนา	45
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องจักร	50
ภาคผนวก ข ระบบการทำงานเครื่องจักรที่สร้างเสร็จแล้ว	60
ภาคผนวก ค รายละเอียดการคำนวณค่าพลังงาน.....	64
ภาคผนวก ง ขั้นตอนการใช้งานเครื่องจักร	65
ประวัติคณະนักวิจัย	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลความแตกต่างของค่าความชื้นภายในตู้อบ	35
3-2 ตารางเก็บค่าผลการตรวจวัดอุณหภูมิที่เวลาผ่านไปเท่ากับ t	36
3-3 ตัวอย่างผลลัพธ์การทดลองการเปรียบเทียบความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าอุณหภูมิของตู้อบมะขาม	37
4-1 แสดงผลลัพธ์ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์โดยไม่ใช้ระบบการดูดความชื้น	39
4-2 แสดงผลลัพธ์ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้ระบบการดูดความชื้น	40
4-3 แสดงค่า P – value ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นภายในตู้อบ	42
4-4 ตารางสรุปผลลัพธ์ความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบ ที่อุณหภูมิ 70 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	43

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 แสดงสถิติพื้นที่การปลูกมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ (ไร่).....	3
1-2 แสดงสถิติพื้นที่การปลูกมะขามเปรี้ยว (ไร่).....	4
1-3 แสดงสถิติพื้นที่การปลูกมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ (กิโลกรัม)	4
1-4 ราคาจำหน่ายมะขามเปรี้ยวเฉลี่ยในแต่ละจังหวัด	5
2-1 ผลไม้อบแห้ง	12
2-2 มะขามเปรี้ยวยักซ์.....	14
2-3 ปิจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง.....	16
2-4 การทดลองร่วมปิจจัยสำหรับการออกแบบ 3^2	19
2-5 การทดลองร่วมปิจจัยสำหรับการออกแบบ 3^3	20
2-6 ตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab.....	22
3-1 แบบร่างตู้อบด้านหน้า.....	26
3-2 แบบร่างตู้อบและระบบการควบคุมด้านที่อยู่ด้านหลัง	27
3-3 ออกแบบให้สามารถทำความสะอาดและบำรุงรักษาได้ง่าย.....	27
3-4 พัฒลมกระจายความร้อน	28
3-5 โครงสร้างหลักของตู้อบ.....	29
3-6 ฝาปิดด้านบน	29
3-7 บานประตูตู้อบ.....	30
3-8 มือจับประตู	30
3-9 ตู้ระบบกระจายความร้อน	31
3-10 ตู้ระบบกระจายความร้อน	31
3-11 แผงอบแห้งมะขาม	32
3-12 ท่อลำเลียงอากาศและความชื้น	32
3-13 ระบบวงจรการควบคุมไฟฟ้าในระบบการควบคุมป้อนกลับ	33
3-14 อุณหภูมิทดสอบในระบบการควบคุมป้อนกลับ	34
3-15 การแบ่งพื้นที่ออกเป็น 8 ส่วนแล้วพิจารณาเมื่อเวลาผ่านไปทุกๆ 1 ชั่วโมง	35
4-1 ตู้อบลมร้อน	38
4-2 ระบบการควบคุมพัฒลมระบายอากาศและแผงควบคุมความร้อน.....	38

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

4-3	แผนกระจายอุณหภูมิและพัดลมระบายอากาศ	39
4-4	ความแตกต่างของการเปรียบเทียบการระบบกับดูดความชื้นกับไม่ดูด	41
4-5	การตรวจสอบหาค่าการเป็นปกติของข้อมูล.....	41
4-6	Pareto Chart	42
4-7	Main Effects เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อน	43

บทที่ 1

บทนำ

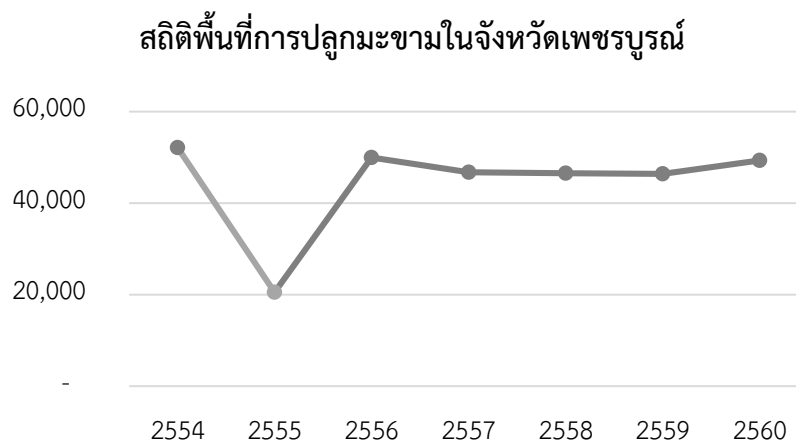
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาความยากจนเป็นปัญหาที่สำคัญและเป็นอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาประเทศ แม้รัฐบาลของประเทศในทุกยุคทุกสมัยต่างมุ่งหวังแก้ปัญหาความยากจน โดยวางแผนยุทธศาสตร์เพื่อเอาชนะแต่ก็สามารถแก้ปัญหาได้บางส่วนเท่านั้น โดยในภาพรวมก็ยังมีประชากรที่มีรายได้น้อยกระจายอยู่ตามชนบทในพื้นที่ส่วนใหญ่ จากแผนพัฒนาภาคเหนือในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้แสดงภาพรวมของสภาพเศรษฐกิจรายได้ของภาคเหนือมีมูลค่าร้อยละ 8.9 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ รายได้เฉลี่ยต่อประชากรยังต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศ ข้อมูลจากปี 2558 ผลิตภัณฑ์ต่อหัวของประชากรภาคเหนือเท่ากับ 18,952 บาทต่อเดือนต่อครัวเรือน ในขณะที่รายได้เฉลี่ยของประเทศอยู่ที่ 26,268 บาทต่อเดือนต่อครัวเรือน รายได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคของเกษตรกรรมและภาคบริการ จากกรอบแผนพัฒนาจังหวัดเพชรบูรณ์ 4 ปี (2561-2564) มีเป้าหมายการพัฒนาให้เพชรบูรณ์เป็นดินแดนแห่งความสุขของคนอยู่และผู้มาเยือน โดยมุ่งไปที่การส่งเสริมการเกษตรปลอดภัย การพัฒนาและยกระดับการท่องเที่ยวเพื่อ สร้างสรรค์มูลค่าเพิ่ม พร้อมกับยกระดับคุณภาพชีวิตและเสริมสร้างมั่นคงของสังคม รวมทั้งรักษา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้มีความยั่งยืน จากข้อมูลในปี 2559 พบว่าจังหวัดเพชรบูรณ์ผลิตภัณฑ์มวลรวมของจังหวัดอยู่ที่ประมาณ 80,000 ล้านบาท ซึ่งรายได้ของประชากรเฉลี่ยของจังหวัด ฯ ต่อหัวจะอยู่ที่ 86,017 บาทต่อปี อยู่ในลำดับที่ 49 ของประเทศ โดยมูลค่ากว่าร้อยละ 30 จะเป็นรายได้จากภาคเกษตร ส่วนที่เหลือกว่าร้อยละ 60 จะเป็นรายได้จาก อุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ การท่องเที่ยว การค้า และการบริการทั่วไป ซึ่งในอัตราการขยายตัวในส่วนอื่นมีแนวโน้มที่เพื่อสูงขึ้นยกเว้นภาคเกษตร ที่ลดลงมากถ้าหากเทียบกับปี 2554 เป็นต้นมา ปัญหาสำคัญที่ทำให้ภาคเกษตรมีอัตราการขยายตัวปรับลดลงเกิดจาก ราคาผลผลิตที่ตกต่ำ ปัญหาจากโรคพืช ปัญหาภัยแล้ง รวมไปถึงปัญหาที่เกิดจากมาตรฐานด้านการผลิต ส่งผลให้เกษตรกรและผู้ประกอบการยังไม่สามารถขยายตลาดได้กว้างและหลากหลายมากนัก

มะขามเป็นผลไม้ที่ถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีชื่อเสียงมาอย่างช้านานของจังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นผลไม้ที่มีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาผลไม้ชนิดอื่น ปลูกง่าย โตเร็ว แข็งแรง ทนทานต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้ง อีกทั้ง มะขามเป็นผลไม้ชนิดเดียวของไทยที่ไร้คู่แข่งในตลาดโลก เพราะไม่มีประเทศไหน

ที่ปลูกได้ดีเหมือนประเทศไทย ซ้ำยังเป็นที่ต้องการของหลายประเทศ ที่สำคัญยังเป็นผลไม้ที่เกษตรกรไม่ต้องการขาย สามารถเก็บไว้ได้นานเป็นเดือน ซึ่งมะขามหวานเพชรบูรณ์ได้รับการจดทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Thai Geographical Indication) หรือตราสัญลักษณ์ GI จากกรมทรัพย์สินทางปัญญากระทรวงพาณิชย์ ซึ่งสาเหตุที่มะขามหวานเพชรบูรณ์ได้ตรา GI นั้น เพราะสภาพดินฟ้าอากาศที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเจ้าผลไม้ชนิดนี้ ทำให้มะขามหวานเพชรบูรณ์ฝักใหญ่ เปลือกสีน้ำตาลเนียนสวย เนื้อหนาหวานสม่ำเสมอ มีรสหวานหอม แตกต่างจากจังหวัดอื่น พันธุ์มะขามที่นิยมปลูกกันมากเพราะสามารถขายได้ดีได้แก่ พันธุ์สีทอง พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ประกายทอง เทพ เพียงมะลั่ง (2553)

ถึงมะขามจะเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและเป็นผลไม้ที่มีราคาแพง แต่ก็มีปัญหาที่สำคัญคือเรื่องของแมลงและการเกิดเชื้อราในมะขาม ส่งผลต่อการตัดสินใจในการบริโภคของผู้บริโภค ทำให้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งมะขามมีราคาที่ตกต่ำทำให้เกษตรกรตัดสินใจเลิกปลูกมะขามเป็นจำนวนมาก จากสถิติพบว่าตั้งแต่ปี 2554-2559 มีผู้ปลูกมะขามลดลงเนื่องจากมะขามไม่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรอย่างเช่นในปี 2553 ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องใช้พื้นที่ทำกินที่มีอยู่อย่างจำกัดสำหรับปลูกพืชชนิดใหม่เพื่อหารายได้เลี้ยงครอบครัว ในปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการจัดการเพื่อป้องกันเชื้อราและแมลงที่อาจเกิดขึ้นในมะขาม เช่น การเก็บมะขามไว้ในห้องเย็น การอบไอน้ำเพื่อใช้ความร้อนฆ่าแมลง และกรรมวิธีการแปรรูปมะขาม แต่ยังสามารถคงไว้ซึ่งคุณภาพของมะขามได้ในบางส่วนเท่านั้น ผู้ประกอบการจึงได้หาวิธีในการแปรรูปมะขามเพื่อตอบสนองการให้แก่ผู้บริโภค จากเดิมผู้บริโภคซื้อมะขามมา 1 กิโลกรัม อาจรับประทานได้เพียงไม่กี่ฝักเพราะมีเชื้อราหรือแมลงอยู่ในมะขามทำให้ต้องทิ้ง แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนามะขามไร้เมล็ดอบแห้งบรรจุในบรรจุภัณฑ์อย่างดีทำให้ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ทุกฝัก ซึ่งทำให้มะขามกลับมาเป็นต้องการและมีมูลค่าสูงขึ้น ส่งผลให้มีผู้ปลูกมะขามค่อยๆ เพิ่มจำนวนขึ้น ในปี 2560 ประเทศไทยมีผู้ปลูกมะขามทั้งสิ้น 32,8528 ครัวเรือน เฉพาะในจังหวัดเพชรบูรณ์ 5,480 ครัวเรือน มีพื้นที่การปลูกมะขามจำนวน 49,299 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2559 กว่าร้อยละ 6 และมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังในภาพที่ 1

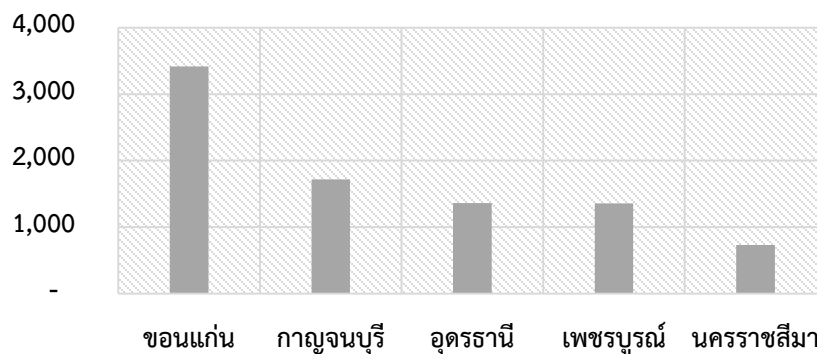


รูปที่ 1-1 แสดงสถิติพื้นที่การปลูกมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ (ไร่)

ที่มา : ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร

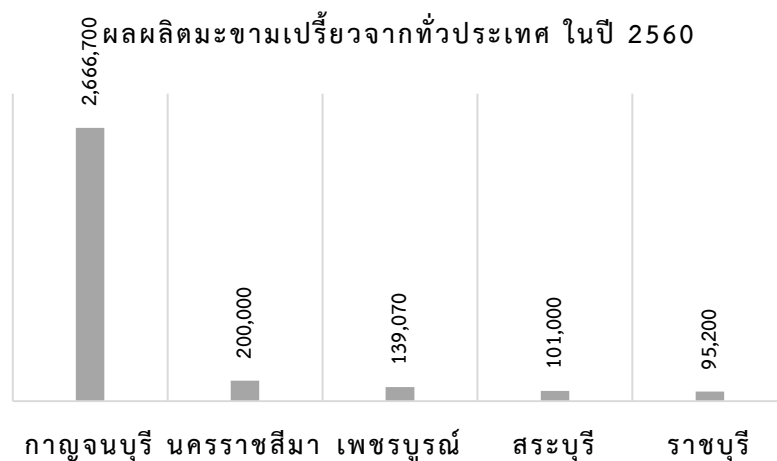
นอกจากมะขามหวานแล้ว มะขามเปรี้ยวยังถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่น่าจับตามองเช่นเดียวกัน โดยความต้องการของตลาดมีแนวโน้มสูงขึ้น ในปี 2560 ประเทศไทยมีการปลูกมะขามเปรี้ยวทั้งหมด 12,605 ครัวเรือน ใช้พื้นที่ในการปลูก 11,988 ไร่ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 3.4 ล้านกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ากว่า 192 ล้านบาท จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นจังหวัดที่ปลูกมากเป็นอันดับ 4 รองจาก ขอนแก่น กาญจนบุรี อุตรธานี สามารถเก็บผลผลิตได้เป็นลำดับที่ 3 รองจาก ขอนแก่น กาญจนบุรี และ อุตรธานี ดังภาพที่ 3 ถึงจะเป็นที่ 4 (ยังไม่ปรากฏข้อมูลของจังหวัดขอนแก่น) ผลผลิตก็ยังห่างจากลำดับที่ 1 เป็นอย่างมาก แต่มีแนวโน้มที่จะปลูกมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมะขามเปรี้ยวได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งในและต่างประเทศ

จังหวัดที่ปลูกมะขามเปรี้ยวมากที่สุดในประเทศไทย ในปี 2560



รูปที่ 1-2 แสดงสถิติพื้นที่การปลูกมะขามเปรี้ยว (ไร่)

ที่มา : ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร

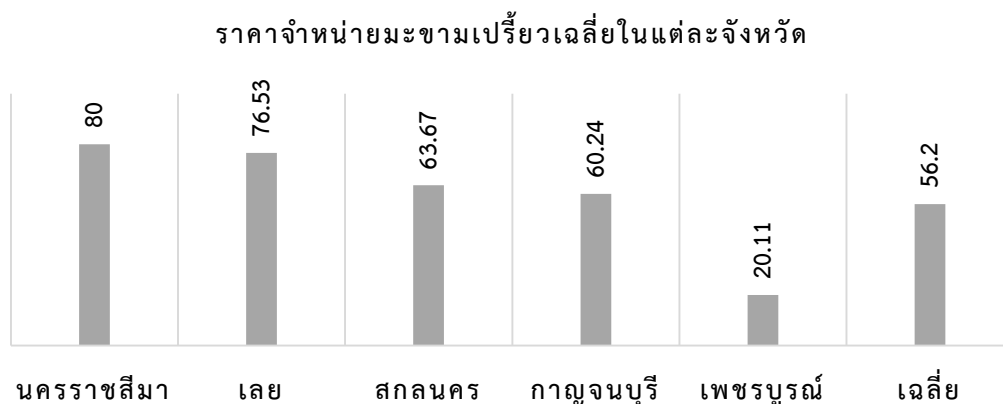


รูปที่ 1-3 แสดงสถิติพื้นที่การปลูกมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ (กิโลกรัม)

ที่มา : ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร

ปัจจุบันในจังหวัดเพชรบูรณ์มีการรวมตัวของผู้ปลูกมะขามรายย่อย จำนวนหลายกลุ่ม เพื่อแก้ปัญหาการถูกเอาเปรียบ การกดราคาจากพ่อค้าคนกลาง จากการบอกเล่าปัญหาของกลุ่มผู้ปลูกมะขามพบว่า เมื่อถึงฤดูกาลมะขามออกฝักจะมีผู้มารับซื้อถึงสวนมะขาม โดยให้ราคาเฉลี่ยประมาณ 25-35 บาท

สำหรับมะขามหวาน และเฉลี่ย 25 บาทสำหรับมะขามเปรี้ยว ซึ่งห่างจากราคาเฉลี่ยจากทั่วประเทศเกือบร้อยละ 50 ดังที่แสดงในภาพที่ 4



รูปที่ 1-4 ราคาจำหน่ายมะขามเปรี้ยวเฉลี่ยในแต่ละจังหวัด

ที่มา : ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร

ถึงวิธีการนี้จะการันตีว่ามะขามที่ออกมาจะสามารถขายได้อย่างแน่นอน แต่ก็ยังขายได้ในราคาที่ต่ำมาก ถ้าหากเทียบกับราคาขายปลีก แต่เกษตรกรไม่มีทางเลือก เนื่องจากไม่สามารถนำไปจำหน่ายเองได้ ทำให้ต้องขายในราคาที่ต่ำมากๆ ในบางครั้งถึงกับขาดทุน เนื่องจากพบกับปัญหาศัตรูพืช โรคพืช ขี้อร่า หรือสภาพอากาศทำให้อดอกร่วง ทำให้ไม่ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกษตรกรต้องรวมกลุ่มกันอาจเป็นกลุ่มหรือสร้างรูปแบบของวิสาหกิจชุมชน เพื่อเพิ่มศักยภาพในการค้าขายและต่อรองราคากับผู้ซื้อมากขึ้น ส่งผลให้สามารถขายสินค้าได้ในราคาใกล้เคียงกับท้องตลาด ลดช่องว่างในด้านของการถูกเอารัดเอาเปรียบจากการกดราคา

ในงานวิจัยของ เทพ และจินตนา (2555) พบว่ามีแนวโน้มความต้องการบริโภคมะขามเปรี้ยวเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลในปี 2555 ถ้าหากเก็บผักขาย เกษตรกรสามารถขายมะขามได้ในราคา 7-10 บาทต่อกิโลกรัม แต่ข้อมูลในปี 2560 พบว่าราคาเฉลี่ยทั่วประเทศของมะขามเปรี้ยวจากเกษตรกรเฉลี่ยอยู่ที่ 56 บาท ถ้าหากผ่านกระบวนการแปรรูป สามารถขายได้เฉลี่ย 87.5 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นผู้ประกอบการจึงนิยมที่จะนำมะขามเปรี้ยวมาแปรรูปมากกว่าจำหน่ายแบบฝักสด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการนิยมได้แก่ มะขามจี๊ดจ๊าด มะขามคลุกจี๊ดจ๊าด มะขามแก้ว มะขามเคี้ยวหนึบ มะขามแช่อิ่ม มะขามเปียก น้ำมะขามพร้อมดื่ม ในต่างประเทศนิยมนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมะขามเปรี้ยวไปปรุงอาหาร ซึ่งมะขาม

เปรี้ยวถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารไทย หากมีการผลิตมะขามเปียกที่ได้มาตรฐานและสามารถขนส่งได้ง่ายก็นำไปสู่การกระจายมะขามสำหรับประกอบอาหารไปทั่วโลก โดยประเทศที่นิยมผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะขามเปรี้ยวได้แก่ ประเทศแถบตะวันออกกลาง และ กลุ่มธุรกิจร้านอาหารไทยในต่างประเทศ ในงานวิจัยของ ธิติยา (2549) ได้มีการศึกษาการพัฒนาสู่กลยุทธ์ผลิตภัณฑ์มะขามเปรี้ยวสำเร็จรูปเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งอุปสรรคสำคัญของมะขามเปรี้ยวคือมาตรฐานในด้านของคุณภาพสี รสชาติ การปนเปื้อนกับเศษหิน ดินทราย ตลอดจนวิธีการเก็บรักษาที่ถูกต้อง จากผลงานวิจัยพบว่า ผู้บริโภคที่ต้องการมะขามเปรี้ยว นิยมนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมะขามเปรี้ยวไปปรุงอาหาร เนื่องจากสามารถให้เวลาในการทำอาหารน้อยลงกว่าเดิม ซึ่งมะขามเปียกถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารไทย เช่น ต้มโคล้ง ต้มปลา ต้มยำไก่บ้าน รวมทั้งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเมนูระดับโลกอย่างต้มยำกุ้ง จากการสอบถามผู้ประกอบการร้านอาหารไทยในญี่ปุ่นพบว่าราคามะขามเปียกอัดก้อนอยู่ที่ราคา 380 เยนหรือ ประมาณ 110 บาท ต่อ 16 OZ หรือ 454 กรัม (อัตราแลกเปลี่ยนเดือนตุลาคม 2561 เท่ากับ 29 เยนต่อ 1 บาท) และประเทศห้างสรรพสินค้าไทยในประเทศสหรัฐอเมริกาจะจำหน่ายที่ราคา 5 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 160 บาทต่อ ต่อ 16 OZ เช่นกัน (อัตราแลกเปลี่ยนเดือนตุลาคม 2561 เท่ากับ 32 บาทต่อ 1 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ) ซึ่งถ้าหากมีการผลิตมะขามเปียกอัดก้อนที่ได้มาตรฐานและสามารถขนส่งได้ง่าย อาจนำไปสู่การกระจายมะขามสำหรับธุรกิจร้านอาหารที่อยู่ทั่วโลก

จากแผนพัฒนาจังหวัดเพชรบูรณ์ 4 ปี (พ.ศ. 2561 – พ.ศ. 2564) ในประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1: การส่งเสริมเกษตรปลอดภัย การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและสร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งต้องการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตร ทำให้สินค้าและบริการได้รับการรับมาตรฐานมากขึ้น ถ้าหากเก็บผักขาย ปัจจุบันเกษตรกรสามารถขายมะขามได้ในราคาเฉลี่ยเพียง 25 บาทต่อกิโลกรัม แต่ถ้าหากผ่านกระบวนการแปรรูป สามารถขายได้เฉลี่ย 87.5 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นผู้ประกอบการจึงนิยมที่จะนำมะขามเปรี้ยวมาแปรรูป ในต่างประเทศนิยมนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมะขามเปรี้ยวไปปรุงอาหาร ซึ่งมะขามเปียกถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารไทย เช่น ต้มโคล้ง ต้มปลา ต้มยำไก่บ้าน รวมทั้งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเมนูระดับโลกอย่างต้มยำกุ้ง ในปัจจุบันการทำมะขามเปียกอัดก้อนแบบเดิม จะใช้มะขามเปรี้ยวยักษ์ไปปอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศา เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในการจำหน่ายสินค้า นอกจากผลิตภัณฑ์มีได้จะต้องมีให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคแล้ว มาตรฐานในเรื่องของความสะอาด การปราศจากการปนเปื้อนของสารเคมี สถานประกอบการที่ถูกสุขลักษณะ และอีกหนึ่งประเด็นที่สำคัญ

คืออายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากผักและผลไม้มักจะมีอายุในการเก็บรักษาที่ไม่นานนัก ยิ่งถ้าหากต้องขนส่งเพื่อจำหน่ายในสถานที่ที่ห่างไกลอาจต้องใช้เวลาเป็นเดือนๆ สินค้าอาจจะหมดอายุหรือเสื่อมคุณภาพก่อนที่จะถึงมือผู้บริโภค มะขามเปรี้ยวที่ปกติจะมีอายุประมาณ 3 วันถ้าหากเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศา ซึ่งหากเก็บไว้นานกว่านั้นมะขามจะมีสีคล้ำและเกิดเชื้อรา ดังนั้นถ้าหากต้องการใช้ระยะเวลาในการขนส่ง ผู้ประกอบการจำเป็นต้องทดสอบเพื่อหาระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หลังจากที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ รวมถึงอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ยังคุณภาพเดิมอยู่จนถึงมือผู้บริโภค งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุให้กับมะขามเปียกอัดก้อน โดยประยุกต์ใช้ระบบการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการอบด้วยความร้อนในโรงเรือนระบบปิด เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของเนื้อมะขาม และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา โดยการทดลองตั้งแต่เริ่มอัดก้อนจนถึงการบรรจุภัณฑ์จะอยู่ในภายในโรงเรือนที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันเชื้อโรคจากภายนอกเข้ามาปะปนในผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการอบเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามเปรี้ยวและการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.3.1 สืบหาข้อมูลและร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาจากกรณีวิธีการผลิต
- 1.3.2 กำหนดขอบเขตของปัญหา จัดเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์ สำหรับใช้ในการทดลอง
- 1.3.3 ออกแบบการทดลอง กำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อโอกาสการเกิดความชื้น กำหนดวิธีการทดลอง
- 1.3.4 ดำเนินการทดลองตามแผนและบันทึกผลลัพธ์
- 1.3.5 วิเคราะห์และอภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองไปทดสอบหาค่าความชื้น
- 1.3.6 ถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีสู่ผู้ประกอบการและประชาชนที่สนใจ รวมถึงนำผลการวิจัยมาบูรณาการเข้ากับการจัดการเรียนการสอน

1.3.7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและหาข้อควรปรับปรุง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาการทำวิจัยในอนาคต

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปมะขาม

1.4.2 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

มะขามเปรี้ยวยักษ์

1.4.3 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.4.4 ออกแบบและพัฒนาตู้อบมะขามแบบลมร้อนจากขดลวดไฟฟ้าแบบระบบการควบคุมป้อนกลับ ที่ถูกออกแบบให้สามารถทำงานแบบอัตโนมัติ

1.4.5 ออกแบบการทดลองเพื่อหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบมะขามเปียก โดยใช้การพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ ขอบเขตด้านพื้นที่

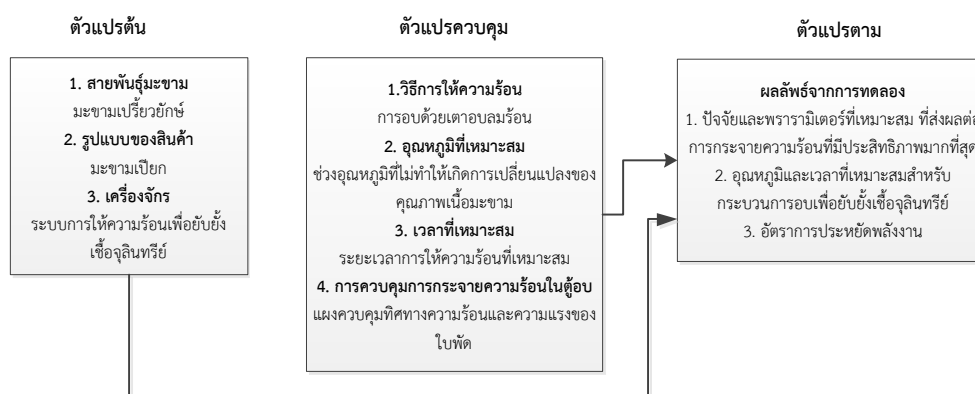
1.4.5.1 ใช้อาคารปฏิบัติการ 18/6 คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เป็นสถานที่ออกแบบและสร้างเครื่องจักร

1.4.5.2 พื้นที่ในการวิจัยเพื่อศึกษาข้อมูลประกอบการดำเนินการวิจัย ได้แก่ สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบูรณ์ วิสาหกิจชุมชนฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ฯลฯ

1.4.6 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 12 เดือน

1.5 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการ



1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ประโยชน์ต่อคณะผู้วิจัย

1.6.1.1 ผลลัพธ์ที่สามารถตอบสนองการบูรณาการในการจัดการเรียนการสอน

1.6.1.2 บทความทางวิชาการ

1.6.1.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนางานวิจัยที่จะนำไปสู่องค์ความรู้ในด้านอื่นๆ ของคณะผู้วิจัย

1.6.2 ประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัย

1.6.2.1 พันธกิจการบริการวิชาการที่สร้างประโยชน์ให้แก่ชุมชน

1.6.2.2 ความร่วมมือทางวิชาการและความสัมพันธ์ที่ดีของมหาวิทยาลัย ภาครัฐ และสถานประกอบการ

1.6.2.3 ช่วยให้สถาบันการศึกษาได้รับการยอมรับจากชุมชนและตลาดแรงงาน

1.6.3 ประโยชน์ต่อสังคมและชุมชน

1.6.3.1 การรวมตัวกันของเกษตรกรในการประกอบธุรกิจในระดับชุมชน มีความมั่นคงได้รับการรับรองตามกฎหมาย มีมาตรฐานที่ตอบสนองความต้องการแก่ผู้บริโภค

1.6.3.2 การส่งเสริมความรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่น การพัฒนาความสามารถในการจัดการตรงตามความต้องการที่แท้จริง

1.6.3.3 ระบบเศรษฐกิจชุมชนมีความเข้มแข็งพึ่งพาตนเองได้ มีความพร้อมที่จะพัฒนาสำหรับการแข่งขันทางการค้าในอนาคต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้คณะผู้วิจัยจะกล่าวถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับมะขาม ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตมะขามหวานอบแห้ง ความรู้ด้านการออกแบบและสร้างเครื่องจักรที่นำมาใช้พัฒนากระบวนการแปรรูปมะขาม การออกแบบการตลาดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแปรรูปมะขาม

การแปรรูป เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่ม และสร้างความแปลกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น แก้ปัญหาผลผลิตล้นตลาดและราคาตกต่ำได้ มะขามนับเป็นผลไม้ที่มีการแปรรูปได้หลากหลายกว่าไม้ผลชนิดอื่นๆ จากรสชาติที่มีความเปรี้ยวอยู่แล้ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสเข้มข้น เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค มะขามสามารถแปรรูปได้ทั้งมะขามอ่อน มะขามดิบ มะขามสุก ทั้งมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว ทำเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค เป็นเครื่องสำอางและเป็นสมุนไพร มะขามถือได้ว่าเป็นไม้ผลเพื่ออนาคตซึ่งอาจจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แปลกใหม่ได้อีกมาก ปัจจุบันมะขามหวานที่เกษตรกรปลูกประสบปัญหาทำให้ปริมาณและคุณภาพต่ำมะขามหวานมีรสชาติอมเปรี้ยว ผักเล้ก เนื้อแห้ง มีปัญหาการเกิดเชื้อราและแมลงทำลาย หรือมะขามที่ออกนอกฤดูกาลเป็นมะขามที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์จะสุกในฤดูฝนถัดไป ทำให้เกิดเชื้อราทั้งหมด และเกิดผลเสียตามมาคือทำให้มะขามในฤดูกาลออกน้อย เพราะมีมะขามนอกฤดูกาลติดอยู่บนต้น ต้องตัดทิ้งตอนตัดแต่งกิ่ง ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น หากนำมาแปรรูปก็จะสามารถนำสิ่งที่ไม่เป็นประโยชน์มาเพิ่มมูลค่ามะขามเปรี้ยวสามารถนำผลผลิตมาใช้ในการประกอบอาหารเป็นหลัก ทั้งในส่วนของใบอ่อน ผลดิบ และผลสุก นิยมนำมาประกอบอาหารเป็นหลักทำให้อาหารมีรสเปรี้ยวเป็นธรรมชาติซึ่งปัจจุบัน มีการเก็บผลสุกนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด และมีการส่งเสริมตั้งแต่ระดับครัวเรือนกลุ่มเกษตรกรไปจนถึงในรูปแบบของบริษัท ในงานวิจัยของ เทพ และจินตนา (2555) พบว่ามีแนวโน้มความต้องการบริโภคมะขามเปรี้ยวเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลในปี 2555 ถ้าหากเก็บผักขาย เกษตรกรสามารถขายมะขามได้ในราคา 7-10 บาทต่อกิโลกรัม แต่ข้อมูลในปี 2560 พบว่าราคาเฉลี่ยทั่วประเทศของมะขามเปรี้ยวจากเกษตรกรเฉลี่ยอยู่ที่ 56 บาท ถ้าหากผ่านกระบวนการแปรรูป สามารถขายได้เฉลี่ย 87.5 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นผู้ประกอบการจึงนิยมที่จะนำมะขามเปรี้ยวมาแปรรูปมากกว่าจำหน่ายแบบผักสด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการนิยมได้แก่ มะขามจืดจืด มะขามคลุกจืดจืด มะขามแก้ว มะขามเคี้ยวหนึบ มะขามแช่อิ่ม มะขามเปียก น้ำมะขาม

พร้อมดื่ม ในต่างประเทศนิยมนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมะขามเปรี้ยวไปปรุงอาหาร ซึ่งมะขามเปรี้ยวถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารไทย หากมีการผลิตมะขามเปียกที่ได้มาตรฐานและสามารถขนส่งได้ง่ายก็นำไปสู่การกระจายมะขามสำหรับประกอบอาหารไปทั่วโลก โดยประเทศที่นิยมผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะขามเปรี้ยวได้แก่ ประเทศแถบตะวันออกกลาง และ กลุ่มธุรกิจร้านอาหารไทยในต่างประเทศ ในงานวิจัยของ อิตียา (2549) ได้มีการศึกษาการพัฒนาสู่กลยุทธ์ผลิตภัณฑ์มะขามเปรี้ยวสำเร็จรูปเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งอุปสรรคสำคัญของมะขามเปรี้ยวคือมาตรฐานในด้านของคุณภาพสี รสชาติ การปนเปื้อนกับเศษหิน ดินทราย ตลอดจนวิธีการเก็บรักษาที่ถูกต้อง จากผลงานวิจัยพบว่า ผู้บริโภคที่ต้องการมะขามเปรี้ยว นิยมนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมะขามเปรี้ยวไปปรุงอาหาร เนื่องจากสามารถให้เวลาในการทำอาหารน้อยลงกว่าเดิม ซึ่งมะขามเปียกถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารไทย เช่น ต้มโคล้ง ต้มปลา ต้มยำไก่บ้าน รวมทั้งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเมนูระดับโลกอย่างต้มยำกุ้ง

2.2 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือการทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ การใช้ความร้อนเพื่อกำจัดน้ำที่อยู่วัสดุโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดจากของแข็ง โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนซึ่งจะเกิดตรงจุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด หรืออาศัยหลักการอบแห้งการลดความชื้นในระบบ การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ คือ การพาความร้อน จะเกิดกับวัตถุที่เป็นของเหลว โดยกระแสความร้อนจะถูกพาผ่านช่องว่างที่เป็น อากาศหรือแก๊สจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง หรือการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนจาก โมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งจะเกิดกับวัตถุที่มีลักษณะเป็นของแข็ง และสุดท้ายเป็นการการแผ่รังสี ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนไปยัง วัตถุซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีอบในสุญญากาศ และการอบแห้งแบบเยือกแข็ง ในทางปฏิบัติ การถ่าย เทความร้อนในการอบแห้งอาจ เกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 หรือ 3 แบบก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุที่นำไปอบแห้ง ประเภทการอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ



รูปที่ 2-1 ผลไม้อบแห้ง

ที่มา : ผลไม้อบแห้ง, 23 ม.ค. 2019

2.2.1 การอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

เป็นระบบการอบแห้งแบบระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยกระแสลมที่พัดเป็นตัวกลางพาความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยมีลักษณะของการทำงานดังนี้

2.2.1.1 เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัตถุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ

2.2.1.2 ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัตถุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้ออบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น

2.2.1.3 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัตถุที่อยู่ในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านการอบแห้ง

2.2.2 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

2.2.2.1 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน ใช้กระแสลมร้อนสัมผัส กับวัตถุดิบ เช่น ตู้อบลมร้อน (Hot air dryer) โดยจะใช้ Blower ในการเป่าลมร้อน จากแหล่งพลังงานความร้อนคือ Heater ไปยังวัตถุดิบ การนำไปประยุกต์ใช้ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ในการอบแห้งวัตถุดิบในทางอุตสาหกรรม เพื่อให้วัตถุดิบแห้ง ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการต่อไป ข้อดีคือ สามารถทำการอบแห้งได้ในอัตราการผลิตที่คงที่

ประสิทธิภาพในการทำงานสูง ควบคุมการทำงานได้ดี แต่ข้อเสียคือวิธีนี้สิ้นเปลืองพลังงานมาก เพราะจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง ในการสร้างความร้อน และหมุน Blower

2.2.2.2 การอบแห้งด้วยการพ่นวัตถุดิบที่เป็นของเหลวไปในลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) มีกระบวนการ เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่าน filter และผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ spray (feed) ควรมีลักษณะเหลว จากนั้นสารละลายของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบและจุดสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกเล็กน้อย จะได้ผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber และผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone จนได้ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในกระบวนการอบด้วย spray dryer นั้น การประยุกต์ใช้งาน การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้กับวัตถุดิบที่เป็นน้ำเพื่อทำให้เป็นผง ใช้ในกระบวนการผลิตยา เช่นในอุตสาหกรรมนมผง ไข่ผง กาแฟผง และผงซักฟอก การอบแห้งด้วยการพ่นวัตถุดิบที่เป็นของเหลวไปในลมร้อนจะเหมาะสำหรับการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงแห้งจำนวนมาก อุณหภูมิที่ใช้ไม่ต้องสูงมากนัก แต่ก็มีข้อเสียคือกระบวนการในการติดตั้งระบบ มีความซับซ้อน

2.3 มะขามเปรี้ยว

2.3.1 เกี่ยวกับมะขามเปรี้ยว

มะขามเปรี้ยวเป็นผลผลิตทางการเกษตรพื้นบ้านของไทย นำเข้ามาปลูกครั้งแรกที่จังหวัดเพชรบูรณ์ มะขามมีลักษณะเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่แตกกิ่งก้านสาขามาก เปลือกมีลักษณะขรุขระและหนา สีน้ำตาลอ่อน ใบเป็นใบประกอบ ผลเป็นฝักยาว รูปร่างยาวหรือโค้ง 3-20 เซนติเมตร ฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา

2.3.2 การเก็บเกี่ยว

มะขามเปรี้ยวจะแก่ และสามารถเก็บเกี่ยวได้ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือน กุมภาพันธ์ของปีถัดไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งปลูกและสภาพดินฟ้าอากาศด้วย วิธีเก็บทำได้ 2 วิธี คือ

2.3.2.1 เก็บโดยการปีนขึ้นต้น เขย่าให้ฝักมะขามที่สุกเต็มทีหล่นลงมาบนพื้น หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วนำฝักมะขามเปรี้ยวมาแกะเอาเปลือกและเมล็ดออกจากนั้นนำเนื้อมะขาม ที่แกะได้ เรียกว่า มะขามเปียก บรรจุลงในภาชนะต่างๆ เช่น ถุงพลาสติก หรือ ข่ง เพื่อจำหน่ายต่อไป สำหรับวิธีการเก็บรักษามะขามเปียกไว้นานๆ เพื่อจะนำมาจำหน่ายในช่วงที่มีราคาสูง โดย ที่เนื้อมะขาม ไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำทำได้โดย การนำมะขามเปียกที่บรรจุในภาชนะ ไปเก็บไว้ในห้อง เย็นที่อุณหภูมิ ๕ องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถชะลอการเกิดสีดำของเนื้อมะขามได้ประมาณ 10 เดือน หรือ อาจทำได้โดยการนำเอาเกลือผง

2-3 กก. ละลายน้ำเล็กน้อยคลุกกับมะขามเปียกหนัก 7080 กก. ให้ทั่ว จะทำให้มะขามเก็บรักษาได้ทนขึ้น และช่วยป้องกันไม่ให้เนื้อมะขามเปลี่ยนเป็นสีดำ เพราะมะขามที่มีสีดำ ราคาจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง ปกติถ้าทิ้งไว้ประมาณ 15 วัน เนื้อจะเริ่ม เปลี่ยนสี อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาโดยการคลุกเกลือจะอยู่ได้นานประมาณ 6-7 เดือน หลังจากนั้น จะเริ่มเปลี่ยนสีได้เหมือนกัน

2.3.2.2 เก็บเกี่ยวโดยใช้กรรไกรตัดแต่งกิ่ง ตัดที่ขั้วให้หลุดออกจากกิ่ง ถ้ามะขามต้น โตให้ใช้บันไดขึ้นเก็บเกี่ยวฝักที่อยู่สูง เมื่อเก็บฝักมะขามเปรี้ยวแล้ว ไม่ควรให้ถูกน้ำ ให้ตัดแต่งฝัก ที่มีก้านช่อยาวเกินไปทิ้ง พร้อมทำการคัดแยกขนาดของฝัก (เกรด) และฝักเสียหรือฝักแตก มีตำหนิ หรือไม่สมบูรณ์ออกไป การตัดแยกขนาดของฝัก (เกรด) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำ เพราะฝักที่แยกแล้ว ไม่ว่าฝักเล็กหรือฝักใหญ่ ถ้ามีความสม่ำเสมอในขนาดของฝัก มีผลทำให้ได้ราคาดีขึ้น สำหรับฝักที่ แยกได้เกรดตามต้องการแล้ว ต้องนำมากองฟุ้งลมในที่ที่มีการระบายอากาศได้ดี และการฟุ้งลม จะต้องเกลี่ยให้ทุกฝักโดนลม คือ ไม่ทับกันมากเกินไป ยิ่งลมไว้ประมาณ 2-5 วัน จึงนำไปบรรจุถุง หรือกล่องเพื่อจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2-2 มะขามเปรี้ยวยักษ์

2.3.3 การเก็บรักษามะขามเปรี้ยว

มะขามเปรี้ยว สามารถเก็บรักษาเพื่อรอการขายได้นานถึงปี หากมีวิธีการเก็บ รักษาที่ถูกต้อง ซึ่งการเก็บรักษาฝักมะขามเปรี้ยว ทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

2.3.3.1 การฟุ้งลม เป็นการเก็บรักษาฝักมะขามเปรี้ยวในระยะเวลาสั้น ๆ 20-62 วัน โดยนำฝักมะขามเปรี้ยวที่เก็บมาคัดขนาดแล้วยังลมในที่ร่ม มีการระบายอากาศได้ดี ถ้าต้องการเก็บ รักษาฝักไว้ 20-30 วัน ให้ฟุ้งลมเป็นเวลา 2-5 วัน และคอยเกลี่ยฝัก ระวังไม่ให้ทับกันแน่นเกินไป และถ้าต้องการเก็บรักษาฝักมะขามเปรี้ยวให้นาน 30-60 วัน ระยะเวลาการฟุ้งลมต้องนานขึ้น 10-15 วัน โดย

สังเกตว่าฝักมะขามเปรี้ยวจะหยุดการคายน้ำ เพราะการคายน้ำจะทำให้เกิดไอน้ำและความ ร้อนขึ้น เมื่อ นำฝักมะขามเปรี้ยวบรรจุลงในกล่องหรือถุงเพื่อการจำหน่ายแล้ว ฝักมะขามเปรี้ยวอาจ เกิดเชื้อราเสียหาย ได้ การพื้ลมถ้าทำบนตะแกรงเหล็กจะทำให้ได้ผลดีขึ้น

2.3.3.2 การนึ่ง คือการทำให้เนื้อและเมล็ดมะขามเปรี้ยวสุกโดยอาศัยความร้อนจาก ไอน้ำ เพื่อเป็นการกำจัดเชื้อราและแมลงต่าง ๆ ที่อาจจะมีอยู่ในฝักมะขามเปรี้ยว เพื่อต้องการเก็บ รักษาฝักมะขามเปรี้ยวให้นานออกไปอีก โดยที่ฝักมะขามเปรี้ยวยังคงมีคุณภาพและรสชาติคงเดิม วิธีการนึ่ง กระทำเช่นเดียวกับการนึ่งอาหารทั่วไป ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง ใช้ซึ่งนึ่งข้าว ธรรมดา โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำเดือดนึ่ง การนึ่งใช้เวลา 10-20 นาที ขึ้นอยู่กับขนาดของฝัก ถ้า ฝักมีขนาดใหญ่ใช้เวลา นานกว่าฝักขนาดเล็ก และความหนาบางของเปลือกฝักด้วย เมื่อนึ่ง เรียบร้อยแล้วก็นำฝักมะขามเปรี้ยว ออกผึ่งให้เย็น หรือตากผึ่งแดดจนแห้งทั่วทั้งฝักแล้ว ถ้าจะเก็บไว้ นาน ๆ ก็เก็บในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทกัน แมลงได้ เช่น โองเคลือบ หรือ ปี บ

2.3.3.3 การอบด้วยไอร้อน คือการทำให้เนื้อและเมล็ดมะขามเปรี้ยวสุก โดยอาศัย ความร้อนจากไอร้อนเพื่อเป็นการกำจัดเชื้อราและแมลงต่าง ๆ ที่อาจมีอยู่ภายในฝัก เมื่อต้องการเก็บ รักษาฝักมะขามเปรี้ยวได้นาน ไอร้อนจะออกจากเครื่องมือผลิตลมร้อนคล้ายกับการอบของโรงบ่ม ใบ ยาสูบ ซึ่งต้องลงทุนมากและการใช้ยุ่งยาก หรือไม่ก็อาจใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์

2.3.3.4 การเก็บในห้องเย็น เป็นการเก็บที่ต้องลงทุนสร้างห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิ ได้ ให้อยู่ในระดับ 5-10 องศาเซลเซียส การเก็บรักษาฝักมะขามเปรี้ยวไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิที่ต่ำ

2.3.4 ผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากมะขามเปรี้ยว

ผลิตภัณฑ์จากส่วนต่างๆ ที่ไม่ใช่เนื้อมะขาม มะขามเป็นพืชที่มีบทบาท สำคัญต่อ ชีวิตประจำวันของคนไทย (ชุมสาย และคณะ, 2529) โดยเฉพาะประชาชนในชนบท สามารถใช้ประโยชน์ จากมะขามได้เกือบทุกส่วน ดังนี้

เมล็ดมะขามมักนำไป ทำแป้ง ทำกาบแป้งเปียก อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมผ้า ดอก อุตสาหกรรมพลาสติก นำมาทำให้สุกรับประทานเป็นยาถ่ายพยาธิเส้นเดือน ส่วนเปลือก มักนำมา ทบให้เป็นเกล็ดเล็กๆ ใช้ผสมยาสูบพื้นเมือง ทำให้รสชาติกลมกล่อมยิ่งขึ้น ผสมกับสารส้มและยางสน ใช้ ย้อมผ้า และขนแกะให้เป็นสีกากี แก้ว ท้องร่วงและอาเจียน ส่วนของใบ ใช้ใบอ่อนมาเป็นส่วนประกอบใน การปรุงอาหาร ใบแก่นำมาย้อมผ้า ใช้เป็นยาถ่ายพยาธิ ใบ มะขามมีสารออกฤทธิ์ทำลายแกรมบวก เช่น คอกโค บาซิลโล และ อีโคไล ส่วน เนื้อไม้จากต้นมะขาม ที่มีความ แข็ง เหนียว และละเอียด เหมาะ สำหรับทำเชือก ตู และเตียง เส้นใยใช้ทำเชือกได้

ผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากเนื้อมะขาม มะขามเปรี้ยว นอกจากจะใช้รับประทานสดแล้วยังสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ สามารถแบ่งได้ดังนี้ (สำรวจตลาด, 2548) สามารถแบ่งได้หลัก ๆ ออกเป็น 4 ประเภทประกอบด้วย เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง เครื่องปรุงอาหาร ตัวอย่างเช่น

2.3.4.1 เครื่องดื่ม ได้แก่ น้ำมะขามพร้อมดื่มผสมโซดา ไวน์มะขามเปียก ไวน์มะขามสด

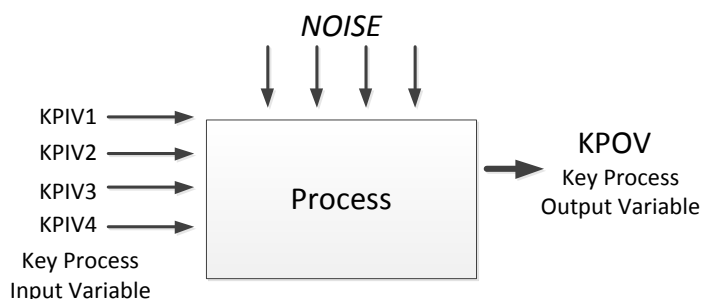
2.3.4.2 อาหารขบเคี้ยว ได้แก่ มะขามผง มะขามคลุก มะขามกวน มะขามแก้ว มะขามแช่อิ่ม ฝั่มมะขามพร้อมดื่ม ท็อปปิ้งมะขาม มะขามหยี มะขามแช่อิ่มแห้ง มะขามคลุกบ๊วย

2.3.4.3 ประเภทเครื่องสำอาง ได้แก่ สบู่มะขามสมุนไพร สบู่ไพรครีมมะขาม ผงมะขามขัดตัว สบู่เหลวมะขามผสมแคโรทีน

2.3.4.4 และประเภทเครื่องปรุงอาหาร ซอสมะขาม แยมมะขาม น้ำมะขามเข้มข้น น้ำมะขามปรุงรส

2.4 การออกแบบการทดลอง(Design of Experiment : DOE)

Design of Experiment (DOE) มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้น กระบวนการ (Process) คือการทำงานร่วมกัน ผสมผสานกันของ เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็น ผลผลิตหรือการบริการ รูปต่อไปนี้เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 2-3 ปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง

ที่มา : ฉลอง สีแก้วสัว, 2552, 12 มิถุนายน

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย บางตัวเราก็ไม่อาจจะควบคุมได้และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อกกระบวนการก็ตาม เราก็จำเป็นต้องละเลยหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวเราไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise เราจะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เราเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV ในขณะเดียวกันเราจะรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆอาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็ได้ วิธีวัดก็มีได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) ถ้าวัดได้ด้วยการนับ การสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเราจะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่เราเห็นว่าบอกหรือสื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น เราเรียกตัวแปรที่เราคัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV ตัวแปรเข้า Input factors ที่เห็นนั่นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการมาก และ Output factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคนเท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนินั่นเอง เมื่อต้องใช้ DOE นั้นจะไม่นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

2.4.1 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

2.4.1.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2.4.1.2 การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ จำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

2.4.1.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

2.4.1.4 เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

2.4.1.5 ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

2.4.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ไม่ใช่แค่การ Run เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model Adequacy Checking) หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไขของ ANOVA ด้วย

2.4.1.7 สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจดีที่สุด ที่มาของข้อมูล และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะได้รับรู้ เมื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองบ้างก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็น ของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

2.4.2 ขั้นตอนในการดำเนินการการออกแบบการทดลอง

กำหนดเป้าหมาย ที่จะต้องทำให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้น้อยที่สุด ให้ได้สาระสำคัญของตัวปัจจัยที่เรากำลังพิจารณาให้มากที่สุด ให้ใช้ต้นทุนและเวลาดำเนินการน้อยที่สุด โดยต้องมีกลยุทธ์และวิธีการดำเนินการที่ดี ควรจะเริ่มจากเข้าใจสภาพปัญหาอย่างถ่องแท้ และรู้ว่าตัวผู้ดำเนินการหรือผู้บริหารต้องการสิ่งใดที่ต้องยึดถือและต้องทำให้ได้ 3 ประการ

2.4.2.1 การสุ่ม (Randomization) การดำเนินการใดๆกับปัจจัยจะต้องอิสระ เพื่อให้ข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึง หลักการกระจายอย่างทั่วถึงสมดุล (Balance out) สำหรับปัจจัยอื่นที่เราไม่อาจควบคุมได้

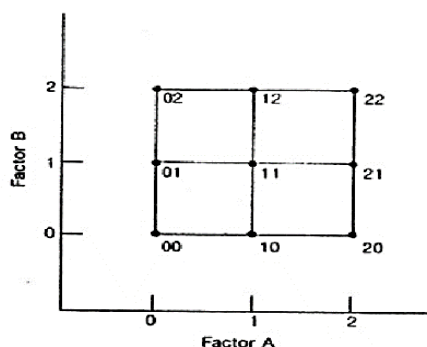
2.4.2.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึงการดำเนินการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่างที่สำคัญคือ .เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง และเพื่อกำจัดทั้งความคลาดเคลื่อน (Average out) อิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ที่มีต่อปัจจัย เปรียบดังเช่นการหาค่าเฉลี่ยนั่นเอง เป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง

2.4.2.3 การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ของการทดลอง หรือคือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2.5 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ 3^k

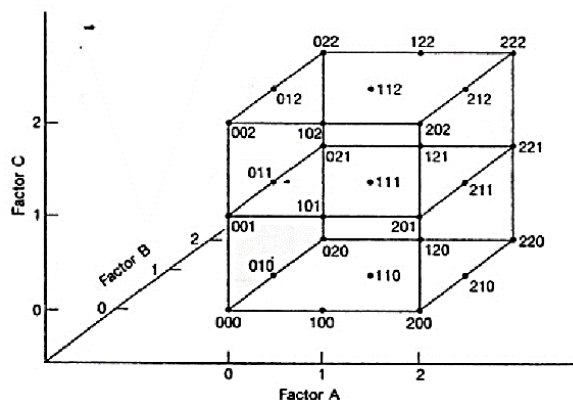
2.5.1 สัญลักษณ์และความเป็นมาของการออกแบบ 3^k

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล A หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ กำหนดให้สัญลักษณ์ของปัจจัยและอันตรกิริยาแทนด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ ปานกลาง และสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสาม อาจจะใช้เป็นตัวเลข 0 (ต่ำ), 1 (ปานกลาง) และ 2 (สูง) การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ตัว โดยที่ตัวเลขตัวแรกแทนระดับของปัจจัย A , ตัวเลขตัวที่สองแทนระดับของ ปัจจัย B , ..., และตัวเลขตัวที่ k แทนระดับของปัจจัย k ตัวอย่าง เช่น ในการออกแบบ 3^2 ตัวเลข 00 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยซึ่งทั้ง A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ, 01 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยที่ A อยู่ที่ระดับต่ำ และ B อยู่ที่ระดับปานกลาง ภาพที่ 2.5.7 และภาพที่ 2.5.8 แสดงโครงสร้างทาง เรขาคณิตของการออกแบบ 3^2 และ 3^3 ตามลำดับ



รูปที่ 2-4 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^2

ที่มา : อรรถกร เก่งพล, 2556, 26 ธันวาคม



รูปที่ 2-5 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^3

ที่มา : อรรถกร เก่งพล, 2556, 26 ธันวาคม

ระบบสัญลักษณ์เช่นนี้เราอาจจะใช้กับการออกแบบ 2^k ได้เช่นกัน โดยใช้ 0 และ 1 แทนเครื่องหมาย + และ - ที่เคยใช้อยู่ แต่ทว่าในการออกแบบ 2^k นั้น เรานิยมใช้สัญลักษณ์ ± 1 มากกว่า เนื่องจากจะทำให้โครงสร้างทางเรขาคณิตของการออกแบบดูง่ายกว่า และยังสามารถใช้กับ แบบจำลอง การถดถอย การบล็อก และเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลได้โดยตรงในการออกแบบ 3^k เมื่อปัจจัยมีลักษณะเป็นเชิงปริมาณ เราจะแทนระดับต่ำ, ปานกลาง และ สูง ด้วย -1, 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งการใช้สัญลักษณ์เช่นนี้จะทำให้ง่ายในการสร้างแบบจำลอง การถดถอยของผลตอบที่เกิดจากแต่ละระดับของปัจจัย ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 3^2 ในภาพที่ 2.27

ให้ x_1 แทนปัจจัย A และ x_2 แทนปัจจัย B แบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ x_1 , และ x_2 , สามารถแสดงดังสมการที่ 2.5.8

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \varepsilon$$

สังเกตว่าจะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและปัจจัยที่สนใจ ในลักษณะที่เป็นสมการแบบควอดราติก (Quadratic) การออกแบบ 3^k จะเหมาะสม เมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง อย่างไรก็ตาม การออกแบบ 3^k ไม่ได้เป็นการออกแบบที่ดีที่สุดในการสร้างแบบจำลองแสดง ความสัมพันธ์แบบควอดราติก ซึ่งในกรณีเช่นนี้การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

2.5.2 รูปแบบทั่วไปของการออกแบบ 3^k

แนวความคิดของการออกแบบ 3^2 และ 3^3 สามารถขยายไปสู่กรณีของปัจจัย k ตัว แต่ละตัว ประกอบด้วย 3 ระดับ นั่นคือ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k สัญลักษณ์แบบดิจิทัล ถูกนำมาใช้แทนการทดลองร่วมปัจจัยที่เกิดขึ้น เช่น 0120 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยในการ ออกแบบ 3^4 ที่มี A และ D อยู่ในระดับต่ำ 8 อยู่ในระดับกลาง และ C อยู่ในระดับสูง การออกแบบ 3^k นี้จะประกอบด้วย การทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 3^k การทดลอง และมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $3^k - 1$ จากการทดลองร่วมปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดผลรวมของกำลังสองของผลหลัก k ตัว ที่แต่ละตัวมี ระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 อันตรกิริยาแบบสองปัจจัยจำนวน c_2^k ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 4; ..., และอันตรกิริยาแบบ k ปัจจัยซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2^k ถ้ามีการทดลองทั้งสิ้น n เพลทเคต จะทำให้เกิดระดับขั้นความเสรีทั้งหมดเท่ากับ $n3^k - 1$ และค่าผิดพลาดของระดับขั้น ความเสรีเท่ากับ $3^k(n-1)$

ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับผลหลัก และอันตรกิริยาสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีการตามปกติของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ธรรมดาแล้วอันตรกิริยาแบบสามปัจจัยและสูงกว่าจะ ไม่ถูกแยกอีกต่อไป อย่างไรก็ตาม อันตรกิริยาแบบ h ปัจจัยจะมีส่วนประกอบแบบเชิงตั้งฉาก จำนวน 2^{h-1} ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาสี่ปัจจัย ABCD จะมีส่วนประกอบแบบเชิงตั้งฉาก จำนวน $2^{4-1} = 8$ ตัว ซึ่งเขียนได้คือ $ABCD^2$ ABC^2D $ABCD$ ABC^2D^2 AB^2C^2D , AB^2CD^2 และ $AB^2C^2D^2$ ในการเขียนส่วนประกอบเหล่านี้ สังเกตว่าตัวเลขยกกำลังของตัวอักษรตัวแรกจะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ถ้าตัวเลขยกกำลังนี้ไม่เท่ากับ 1 แล้ว ให้นำพจน์นี้มาแยกกำลังสองและตัวเลขยกกำลังจะลดลง โดยใช้มอดุลัส 3 ดังภาพสมการ

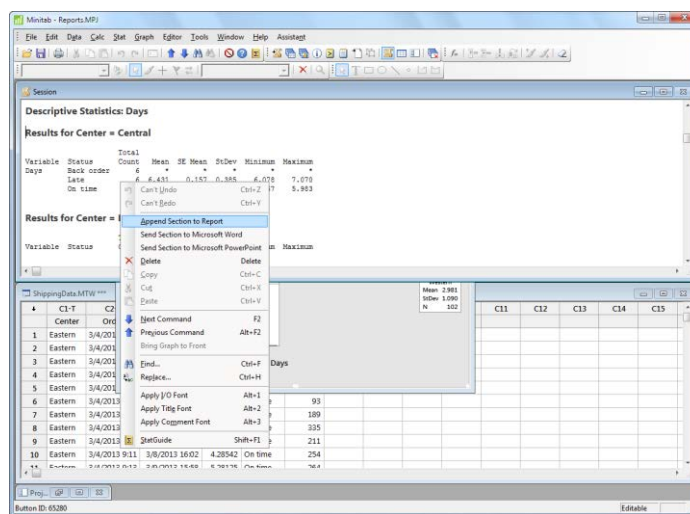
$$A^2BCD = (A^2BCD)^2 = A^4B^2C^2D^2 = AB^2C^2D^2$$

อันตรกิริยาของส่วนประกอบเหล่านี้ไม่มีความหมายในทางกายภาพแต่ประการใด และจะมี ประโยชน์ในการสร้างการออกแบบที่ซับซ้อนจะเห็นได้ว่าขนาดของการออกแบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของตัว k อย่างเช่น การออกแบบ 3^3 จะประกอบด้วย การทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 27 ตัวต่อหนึ่งเพลทเคต, การออกแบบ 3^4 จะมี 81 ตัว, การออกแบบ 3^5 จะมี 243 ตัว, ..., เช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้น บ่อยครั้งที่เราจะทำการทดลองแบบ 3^k เพียง 1 เพลทเคตเท่านั้น และนำอันตรกิริยาขั้นสูงมารวมกันเพื่อให้ได้ค่าประมาณของ ค่าความผิดพลาด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ถ้าอันตรกิริยาแบบ 3 ปัจจัยหรือมากกว่าสามารถละเลยได้ ดังนั้นการออกแบบ 3^3 ที่มี 1 เพลทเคตจะให้ค่าระดับขั้นความเสรีสำหรับความผิดพลาดเท่ากับ 8 และสำหรับการออกแบบ 3^4 ที่มี 1 เพลทเคตจะให้ค่าระดับขั้นความเสรีสำหรับ

ความผิดพลาดเท่ากับ 48 ซึ่งการออกแบบเช่นนี้ยังคงใหญ่เกินไปสำหรับปัจจัย $k \geq 3$ ดังนั้น ไม่ค่อยมีประโยชน์เท่าใดนัก

2.6 โปรแกรม Minitab

หากพูดถึงเรื่อง “สถิติ” หลายคนอาจจะรู้สึกไม่ชอบนัก เนื่องจากสถิติจะต้องมีการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อน และต้องใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งสถิติเป็นศาสตร์ที่สำคัญมาก และหลายๆ ท่านก็จำเป็นต้องใช้สถิติทั้งสำหรับการเรียน การทำวิจัย หรือการทำงาน ดังนั้น ในปัจจุบันนี้จึงมีผู้คิดโปรแกรมการคำนวณทางสถิติเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ทำให้การใช้งานสถิติไม่ยากเหมือนตอนที่ต้องคำนวณด้วยมือหรือเครื่องคิดเลข โปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ถูกพัฒนาเพื่อการใช้งานสำหรับการคำนวณทางด้านสถิติโดยเฉพาะ และเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมทั่วโลก โดยหนังสือเล่มนี้จะแนะนำเทคนิคทางด้านสถิติที่จำเป็นต้องใช้ในการใช้ปฏิบัติงาน, การปรับปรุงกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ หรือการศึกษาร่วมกับโปรแกรม Minitab ซึ่งจะทำให้ผู้ศึกษาใช้งานง่ายและรวดเร็วขึ้น เพราะไม่ต้องใช้เวลาในการศึกษาทฤษฎีการคำนวณทั้งหมด เพียงแค่เข้าใจวิธีการใช้งานและตีความผลลัพธ์จากโปรแกรม Minitab ก็สามารถใช้งานได้เลย



รูปที่ 2-6 ตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab

ที่มา : Solution Centerminitab.com

Minitab เป็นโปรแกรมที่มีความโดดเด่นในด้านการใช้งานที่ง่ายและมีการพัฒนาปรับปรุงฟังก์ชันต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับความรู้และทฤษฎีใหม่ๆ รวมถึงการประยุกต์ทางด้านสถิติโดยเฉพาะในงานด้านคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น Minitab จึงเป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดีสำหรับกลุ่มผู้ที่พัฒนาปรับปรุงคุณภาพด้วยหลักการ “ซิกซ์ ซิกมา” เนื่องจาก Minitab เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับกลุ่มผู้ใช้กลุ่มนี้ แต่ไม่ได้หมายความว่าเฉพาะกลุ่มผู้ใช้กลุ่มนี้เท่านั้น Minitab ยังเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวิชาการ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ และผู้ใช้สถิติทั่วไป ถึงแม้ว่าโปรแกรม Minitab จะเป็นโปรแกรมที่ช่วยให้การทำงานของเราสะดวกขึ้นมาก แต่ความรู้ความเข้าใจในการทำงานของโปรแกรมก็ยังเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ใช้งาน ในบทนี้จะขออธิบายภาพรวมและการทำงานของโปรแกรมโดยทั่วไป

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมามีรูปแบบการให้ความร้อนเพื่อ ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่าระดับ ชุมชมตามมาตรฐาน ยีสและราต้องน้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อ 1 ตัวอย่าง 1 มิลลิตร ในงานวิจัยของ ปรีชาตและสุมาร (2549) ได้ใช้กระบวนการให้ความร้อนเพื่อลดเชื้อ จุลินทรีย์ใน น้ำตาลปี๊บกับมะขามเปียก จากตลาดในอำเภอเมือง อำเภอพิมาย และอำเภอปากช่องจังหวัดนครราชสีมา เพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ทั้งแบบผ่านและไม่ผ่านความร้อน การให้ความร้อนจะอยู่ที่ระดับ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 2 และ 3 นาที จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่า น้ำตาลปี๊บมีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.6×10^4 โคโลนีต่อกรัม เมื่อผ่านความร้อน 90 องศาเซลเซียสในเวลา 1 นาที สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ 2×10^2 โคโลนีต่อกรัม ส่วนมะขามเปียกที่มี เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.5×10^4 โคโลนีต่อกรัม เมื่อผ่านความร้อน 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที สามารถลดปริมาณ ยีสต์และรา ได้ 2.5×10^2 โคโลนีต่อกรัม ที่ผ่านมามีการพัฒนานวัตกรรมเกี่ยวกับการให้ความร้อนจากพลังงานหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถมาช่วยในกระบวนการผลิตที่หลากหลาย ดังนั้นจึงสามารถนำความรู้จากการทบทวนวรรณกรรมไปต่อยอดประยุกต์กับงานวิจัยขึ้นนี้ ตัวอย่างเช่นในงานวิจัยของนายวิทธิชัย เชนทร (2549) ได้ศึกษาการทำงานของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ โดยพาความร้อนให้แก่ผลิตภัณฑ์ โดยใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการพาความร้อนผ่านแผงรับแสงรังสีสุริยะแบบราบเรียบขนาดพื้นที่ ตารางเมตร วางทำมุม 9 องศา ซึ่งทำให้การอัตราการไหลของอากาศร้อนเท่ากับ 0.84 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่หมุนเวียนในตู้อบเฉลี่ย 50-60 องศา ซึ่งจากการทดสอบการทำงานพบว่าสามารถลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการตากแห้งแบบปกติเกือบ 3 เท่า ต่อมาในปี 2553 ในงานวิจัยของ อิศรพงษ์ (2553) ผู้วิจัยได้ศึกษากรรมกรการวิธอบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง เพื่อแปรรูปไปใช้เป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหาร ระยะเวลาการอบแห้ง ปริมาณ

citronellal ค่าสี และค่าวอเตอร์แคคิวิตี ของใบมะกรูดอบแห้ง โดยใช้ตู้อบแสงอาทิตย์แบบพาอากาศร้อยเข้าสู่ห้องอบ ตู้อบลมร้อนแบบถาด และตู้อบไมโครเวฟสูญญากาศ จากผลการทดลองพบว่าใบมะกรูดที่มีความร้อนเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 177.13 จะแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราความร้อนกับความชื้นในระยะเวลาการอบต่างๆ พบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลเมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้แบบจำลอง Lewis, Henderson and Pabis และ Page เพื่อทำนายจลนศาสตร์ของการอบแห้งใบมะกรูด จึงพบว่า เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสได้ดีที่สุด มีการพัฒนาตู้อบเพื่อสังเกตการไหลเวียนของความร้อนและนำมาใช้เป็นสื่อการสอนในวิชาฟิสิกส์ โดยเป็นงานวิจัยของ ดุจดาว ผู้วิจัยได้พัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อการเรียนรู้เรื่องการไหลของความร้อนในวิชาฟิสิกส์ โดนใช้การเก็บความร้อนด้วยก้อนกรวด จากนั้นใช้การพาความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยหลักการแบร์นูลลี จากผลการทดลองพบว่า ตู้อบแห้งสามารถลดน้ำหนักปลาสดได้ร้อยละ 45.20 ภายในเวลา 5 ชั่วโมงซึ่งมากกว่าวิธีการตากแห้งตามธรรมชาติ รวมถึงสีของปลายังคงเหมือนเดิมมากกว่าวิธีการตากแห้งแบบธรรมชาติ

อีกหนึ่งตัวอย่างที่มีการพัฒนาเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ อีกหนึ่งงานวิจัยที่น่าสนใจ เช่นในงานของ สุกุล (2555) ได้ศึกษาปัญหาขั้นตอนการผลิตของกล้วยตากว่าต้องอาศัย แสงอาทิตย์ โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของรังสีที่อาจทำให้อุณหภูมิ ทำให้กล้วยอาจจะแห้งไม่เท่ากัน ความถึงปัญหาจากความชื้นในอากาศ การปนเปื้อนจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรก และการรบกวนของแมลง นก หนูที่อาจนำพาโรคติดต่อสู่ผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงได้พัฒนา เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาอากาศไหลเวียนตามธรรมชาติ โดยอาศัยการสะสมความร้อนจากวัสดุสะสมความร้อนด้านล่าง ศึกษได้ทดสอบกับอุณหภูมิ 3 ชนิด คือ ทราย ขี้ผึ้งและเกลือ พบว่าทรายสามารถเก็บความร้อนได้ดีกว่า การใช้เกลือหรือขี้ผึ้ง โดยสามารถใช้เวลา 32 ชั่วโมงในการลดความชื้นของกล้วยจาก 68.92% xb. ถึง 30% wb. ในเวียง อากรซี และคณะ (2559) ได้ศึกษาการใช้เครื่องแบบแห้งลมร้อนแบบขึ้นวางร่วมกับโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ร่วมกับการใช้โรงอบแห้งโดยใช้หลักการสะสมพลังงาน แบบสภาวะเรือนกระจก โดยใช้ทดสอบกับพริกขี้หนูสดจำนวน 100 กิโลกรัมที่มีความชื้นเริ่มต้นเริ่มที่ร้อยละ 60 ซึ่งต้องการลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 14 โดยเปรียบเทียบการอบแห้ง 3 รูปแบบ คือ การใช้เครื่องอบลมร้อนแบบขึ้นวางเพียงอย่างเดียว ใช้แก๊สหุงต้มในการอบ และสุดท้ายใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่า เครื่องอบลมร้อนแบบขึ้นวางโดยใช้แก๊สได้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสต้องใช้เวลา 16 ชั่วโมงโดยใช้แก๊ส 16 กิโลกรัมในการอบ ส่วนโรงตากพลังงานงานแสงอาทิตย์ต้องใช้เวลากว่า 4- 5 วัน และ ถ้าหากใช้ตู้อบลมร้อนแบบขึ้นวางอุณหภูมิ 60 องศา 8 ชั่วโมง และต่อด้วยโรงตากพลังงานแสงอาทิตย์ 1-2 วัน พบว่าสามารถประหยัดแก๊สหุงต้มได้ร้อยละ 50 แต่พริกที่ได้จะสีสวยกว่า มีนักวิจัยที่สร้างระบบการ

อบแห้งด้วยวัสดุเหลือใช้ ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ นิทัศน์ (2556) คณะผู้วิจัยได้ออกแบบตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุที่ใช้แล้วและหาง่ายแบบกระป๋องเครื่องดื่ม โดยใช้เป็นส่วนประกอบแทนท่อนำความร้อน จากแผงรับรังสีที่มีพื้นที่รับรังสีเท่ากับ 0.66 ตารางเมตร โดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกระป๋องเครื่องดื่มน 2 ขนาดคือ 50 มม. และ 65 มม. จากการทดสอบพบว่าแผงรับรังสีที่ใช้กระป๋องขนาด 50 มม. ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนดีกว่า 65 มม. จากนั้นนำหมู และพริกชี้หนุมมาอบแห้ง จากนั้นนำอุณหภูมิและความเข้มแสงมาคำนวณ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของตู้อบ ซึ่งพบว่ามีความเข้มแสงที่ 727.7 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 360.7 วัตต์ ซึ่งสามารถลดน้ำหนักหมูสามชั้นจาก 3 กิโลกรัมจนถึง 2.3 กิโลกรัม ภายใน 8 ชั่วโมง มีการใช้ไอน้ำมาช่วยในการให้ความร้อนในการอบแห้งให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในงานวิจัยของ ถาวร (2549) ได้พัฒนาตู้อบพลังงานความร้อนจากไอน้ำ โดยการพาความร้อนแบบอิสระ และการพาความร้อนแบบบังคับ จากแหล่งกำเนิดความร้อนโดยใช้หม้อไอน้ำขนาดการผลิต 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพื่อนำมาใช้ศึกษาการอบกล้วยน้ำว้าและพริกชี้ฟ้า จากการทดลองพบว่า กล้วยน้ำว้าสภาวะอบแห้งที่เหมาะสมจะอยู่ที่แรงดันไอน้ำ 1 บาร์ โดยอุณหภูมิอยู่ที่ 70-75 องศาเซลเซียส โดยสามารถอบกล้วยได้ครั้งละ 26 กิโลกรัม ต่อครั้ง

บทที่ 3

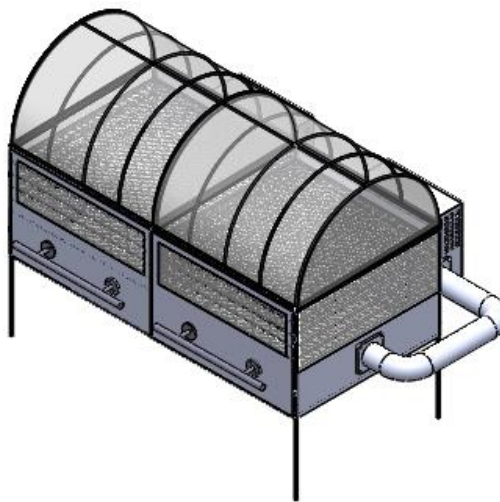
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีแล้วในเนื้อหาบทนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบเครื่องอัดมะขามเปียก ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการออกแบบเครื่องต้นแบบอัดมะขามเปียก มีขั้นตอนหลักๆ คือ การออกแบบและการสร้าง ต้องคำนึงถึงปลอดภัยและความสะดวกในการใช้งาน และการทำความสะอาด

3.1 ระยะที่ 1 การออกแบบตู้อบต้นแบบและระบบระบบการควบคุมป้อนกลับเพื่อส่งความร้อนกลับเข้าสู่ตู้อบ

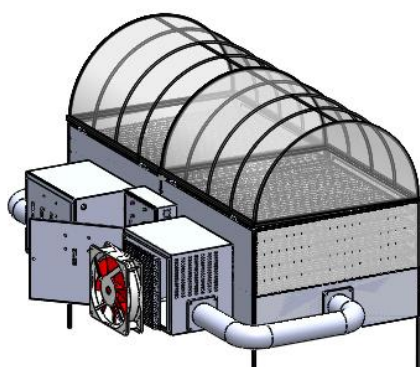
3.1.1 การออกแบบ

ผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก เพื่อลดการใช้พลังงาน แต่เพิ่มความสามารถโดยการพัฒนาให้เป็นระบบปิด โดยตัวเครื่องจะใช้ สเตนเลสเกรด 304 สำหรับมาตรฐานในการแปรรูปอาหาร อีกทั้งช่องว่างระหว่างโครงสร้างผู้วิจัยได้ใช้ฉนวนใยแก้วเพื่อให้ตู้อบสามารถเก็บรักษาอุณหภูมิและเก็บความร้อนได้มากและนานยิ่งขึ้น และส่วนด้านบนใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเพื่อสร้างสภาวะเรือนกระจกเพื่อให้ความร้อนกระจายอยู่ภายในตู้อบ โดยด้านบนสามารถเปิดออก เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาด และบำรุงรักษา

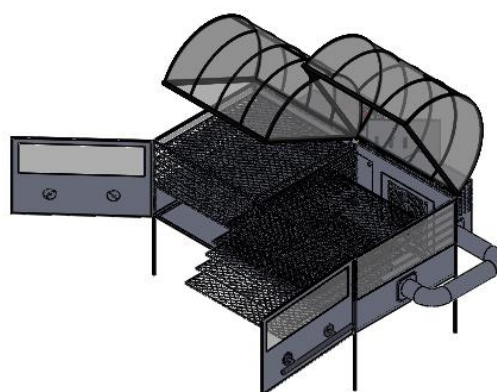


รูปที่ 3-1 แบบร่างตู้อบด้านหน้า

ส่วนระบบการทำงานภายในตู้อบจะอาศัยการแหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นหลัก และชดเชยความร้อนโดยใช้พลังงานจากแผงขดลวดไฟฟ้า กล่าวคือเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จะจำกัดความร้อนได้เพียง 35-50 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าหากต้องการอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสขึ้นไป ตู้อบจะใช้ความร้อนจากแผงขดลวดไฟฟ้าชดเชยความร้อนเข้าสู่ตู้อบตามเพื่อให้ได้ความร้อนตามความต้องการ ตู้อบมีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นเหมือนตู้อบทั่วไป เพียงแต่นอกจากทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ จะมีเซนเซอร์อีกชุดเพื่อทำหน้าที่ควบคุมพัดลมดูดอากาศเย็นที่จะตกลงด้านล่างและความชื้นภายในตู้อบ เมื่อด้านล่างมีอุณหภูมิตามที่กำหนด โบเวอร์จะทำงาน และดึงอากาศเย็นเข้าสู่ท่อลำเลียงไปยังตู้ควบคุมที่มีแผงฮีตเตอร์ เพื่อเปลี่ยนลมอุณหภูมิปกติให้เป็นลมความร้อน และนำความร้อนเข้าสู่ระบบต่อไป



รูปที่ 3-2 แบบร่างตู้อบและระบบการควบคุมด้านที่อยู่ด้านหลัง

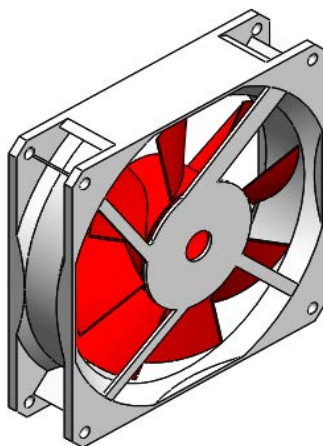


รูปที่ 3-3 ออกแบบให้สามารถทำความสะอาดและบำรุงรักษาได้ง่าย

ในส่วนของการใช้งาน สามารถอบมะขามได้พร้อมกันถึง 10 ถาด สามารถกระจายผลผลิตให้ทั่ว ถาดได้ และสามารถผลิตได้ปริมาณมากในการอบแต่ละครั้ง พาลาโบลาด้านบน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเพื่อ ลดน้ำหนักในการเปิด ส่วนประตูด้านล่างใช้การเปิดออกด้านข้าง เพื่อให้สามารถลดน้ำหนักในการเปิด ประตูเนื่องจากประตูตู้อบใช้สแตนเลสเกรด 304 และฉนวนใยแก้วเพื่อรักษาอุณหภูมิส่งผลให้น้ำหนัก ค่อนข้างมาก โดยมีส่วนประกอบหลักและสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

3.1.1.1 พัฒนาระบายความร้อน

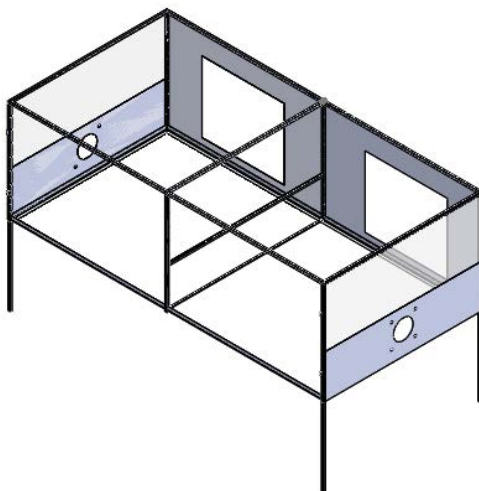
พัฒนาระบายความร้อนทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนไปทั่วทั้งตู้อบ โดยจะทำงาน ร่วมกับระบบการควบคุมป้อนกลับจากข้อมูลที่ได้รับเซนเซอร์ เมื่ออุณหภูมิลดลงและความชื้นเพิ่มขึ้นพัด ลมจะทำงานโดยดูดอากาศที่มีความร้อนที่ไม่ได้ระดับอุณหภูมิที่ต้องการจากภายในเตาและความชื้นจาก การอบไล่ความชื้นในเนื้อชิ้นงานผ่านท่อลำเลียงอากาศ เข้าสู่แผงให้ความร้อนเซรามิค PTC จากนั้น เปลี่ยนแปลงให้มีความร้อนก่อนนำอากาศกระจายเข้าไปภายในตู้อบ ดังภาพที่ 3-4



รูปที่ 3-4 พัฒนาระบายความร้อน

3.1.1.2 โครงสร้างหลักของตู้อบ

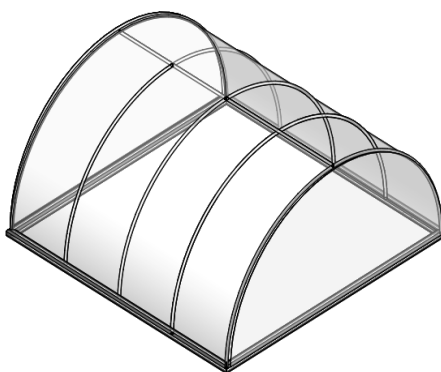
ทำหน้าที่ในการยึดอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ด้วยกัน รวมถึงทำหน้าที่หลักในการกักเก็บ ความร้อนให้มากที่สุดเพื่อการประหยัดพลังงาน จากการออกแบบถ้าหากมีการใช้งานนอกอาคารในเวลา กลางวัน เตาจะสามารถสะสมความร้อนได้มากถึง 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากส่วนประกอบของตู้อบใช้ เหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยคำนึงถึงการเก็บรักษาอุณหภูมิและมาตรฐานวัตถุที่ใช้ในการแปรรูปอาหารดัง ภาพที่ 3-5



รูปที่ 3-5 โครงสร้างหลักของตู้อบ

3.1.1.3 ฝาปิดด้านบน

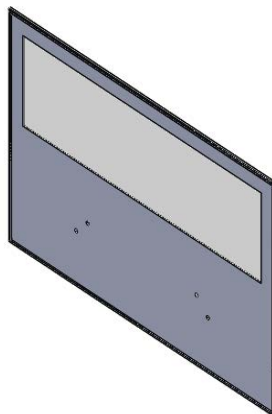
เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบลงภายในเตาความร้อนจะถูกกักเก็บไว้โดยส่วนที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และแผ่นฝาปิดที่ทำมาจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต อัตราความร้อนของอากาศสูงขึ้นเนื่องจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต จะทำหน้าที่เป็นสภาวะเรือนกระจกไม่ให้ความร้อนกระจายตัวออกข้างนอกตู้อบ รวมถึงทำให้ตู้อบมีน้ำหนักเบาลงกว่าการใช้เหล็กกล้าไร้สนิม 304 100%



รูปที่ 3-6 ฝาปิดด้านบน

3.1.1.4 บานประตูตู้อบ

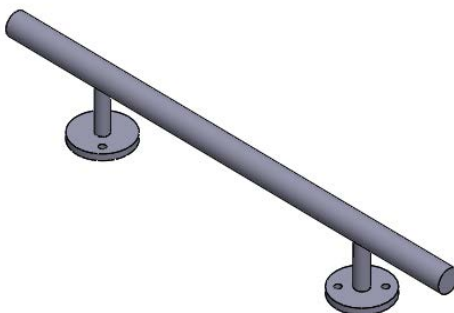
ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมและแผ่นโพลีคาร์บอเนต ออกแบบให้ทำงานคล้ายกับตู้อบขนม เปิด-ปิดทางด้านหน้าได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้แรงยก ซึ่งทำให้ทำความสะอาดตู้อบได้ง่ายยิ่งขึ้นกว่าแบบเดิม เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานสามารถนำตัวเข้าไปทำความสะอาดได้ทันที



รูปที่ 3-7 บานประตูตู้อบ

3.1.1.5 มือจับประตู

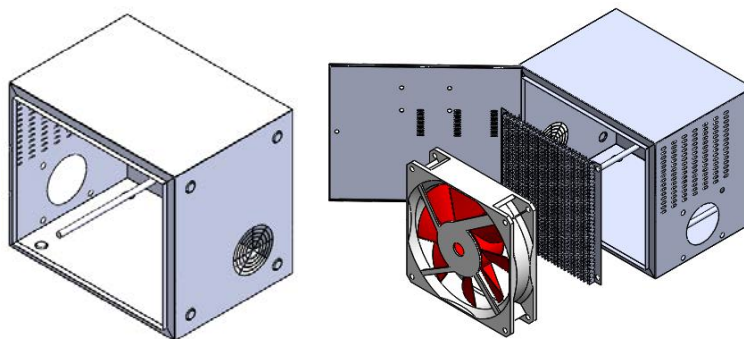
ทำจากเหล็กเพื่อให้มีความแข็งแรง แต่มีส่วนที่หุ้มฉนวนเพื่อกันความร้อน เนื่องจากตู้อบต้องทำงานภายนอกอาคารและทำให้เกิดความร้อนไปทั่วทั้งตู้อบ โดยออกแบบให้มีขนาดใหญ่สอดคล้องกับบานประตูที่หนักเพื่อให้สามารถเปิดได้ง่าย



รูปที่ 3-8 มือจับประตู

3.1.1.6 ตู้ระบบกระจายความร้อน

ทำจากโลหะแผ่น ทำหน้าที่ป้องกันส่วนต่างๆ เช่น พัดลมกระจายความร้อน แผงให้ความร้อนเซรามิก PTC และแผงวงจร รวมไปถึงเป็นสถานที่ที่อุณหภูมิและความชื้นมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อพัดลมดูดอากาศทำงาน โดยจะนำอากาศและความชื้นภายในตู้มาเปลี่ยนแปลงก่อนกระจายเข้าสู่ตู้ใหม่อีกครั้ง เพื่อให้มีสิ่งเจือปนจากอากาศภายนอกน้อยที่สุด



รูปที่ 3-9 ตู้ระบบกระจายความร้อน

3.1.1.7 แผงให้ความร้อนเซรามิก PTC

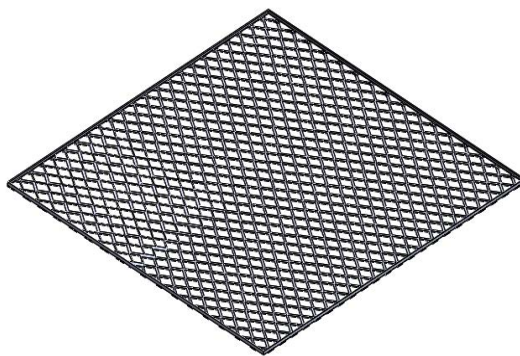
ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนในเวลากลางคืน และชดเชยความร้อนภายในตู้ในเวลากลางวัน โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้กำลังไฟจากแผงให้ความร้อนเซรามิก PTC ที่ 2000W 2 ตัว เพื่อให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า



รูปที่ 3-10 ตู้ระบบกระจายความร้อน

3.1.1.8 แผงอบแห้งมะขาม

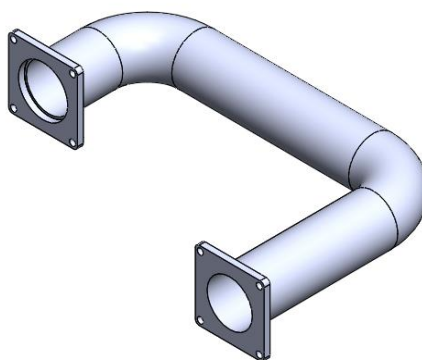
ทำหน้าที่ในการ อบเนื้อมะขามสร้างจากแผงเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ตามมาตรฐานการแปรรูปอาหาร จำนวนทั้งหมด 10 แผง สามารถอบเนื้อมะขามเปียกได้มากกว่าครั้งละ 50 กิโลกรัม แผงอบจะมีลักษณะที่เป็นรูเพื่อให้ความร้อนและความชื้นสามารถกระจายไปทั่วทั้งตู้อบ ก่อนถูกดูดผ่านอากาศเพื่อนำไปเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก่อนกระจายกลับเข้าสู่ตู้อบอีกครั้ง



รูปที่ 3-11 แผงอบแห้งมะขาม

3.1.1.9 ท่อลำเลียงอากาศและความชื้น

ทำหน้าที่ลำเลียงความร้อนและความชื้นเมื่อพัดลมดูดอากาศทำงาน อากาศที่มีอุณหภูมิที่ไม่ได้ระดับที่กำหนดไว้จะถูกดูดเข้าสู่ระบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและกำจัดความชื้นเพื่อกระจายกลับเข้าสู่ตู้อบอีกครั้ง เพื่อให้ตู้อบมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 3-12 ท่อลำเลียงอากาศและความชื้น

จะส่งค่าย้อนกลับไปยังชุดควบคุมเพื่อสั่งการทำงานของพัดลมดูดความชื้น เพื่อเปลี่ยนความชื้นและอากาศให้ผ่านแผงทำความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบสูงขึ้น ส่วนที่เป็นฝาโพลีคาร์บอนเนทกจะทำหน้าที่ในกาเก็บกักความร้อนไม่ให้สูญเสีย ซึ่งจากการใช้งานในเบื้องต้นโดยไม่ใช้แผงกระจายความร้อน สามารถวัดค่าความร้อนได้ถึง 64 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3-14 อุณหภูมิทดสอบในระบบการควบคุมป้อนกลับ

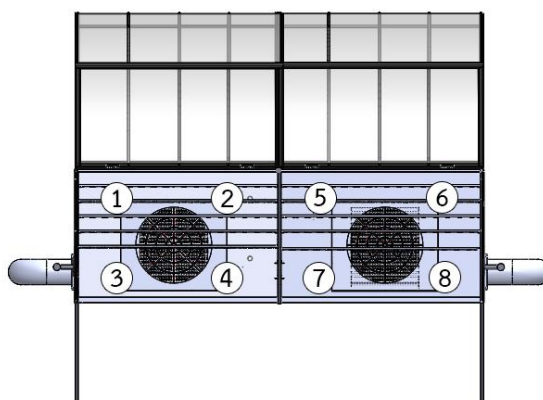
3.2 ระยะที่ 2 การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นและการกระจายความร้อนในตู้อบระบบการควบคุมป้อนกลับ

จากกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามเปรี้ยว มีหลักระบบที่เกี่ยวข้องด้วยกันทั้งหมด 2 ระบบ ประกอบด้วย ของระบบการดูดความชื้นจากกระบวนการอบ และระบบการกระจายความร้อน ดังนั้นการออกแบบการทดลองจะหาการตั้งค่าและการติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้อบให้ตู้อบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสามารถอธิบายได้โดยสังเขปดังนี้

3.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบการดูดความชื้นจากกระบวนการอบ

การทดลองประสิทธิภาพของระบบการลดความชื้นเบื้องต้นถูกออกแบบมาเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบเซนเซอร์ โดยการใช้การเปรียบเทียบจากการวัดความชื้นในระหว่างการอบ โดยทั่วไปแล้ว ความชื้นในอากาศที่เราเรียกสั้นๆ ว่าความชื้น ซึ่งมาจากคำเต็มๆ ว่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity :RH) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศ ณ ขณะนั้น จะรองรับได้เต็มที่ที่อุณหภูมิเดียวกัน (Matthes and Rushing ,1972) หากปริมาณความชื้นมีมากกว่าก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ หน่วยของความชื้นสัมพัทธ์ จึงออกมาเป็น

เปอร์เซ็นต์ (%) ดังนั้นเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามเปรี้ยว ทั้งในรูปแบบที่ใช้พัสดมดูดความชื้นและไม่ใช้พัสดมดูดความชื้น จากนั้นตรวจสอบภาควัดค่าจากทั้ง 8 จุดที่กระจายอยู่ทั่วทั้งตู้อบ โดยเซนเซอร์วัดค่าจะถูกติดตั้งไว้บนแผงอบมะขามในระหว่างการอบ ซึ่งในรูปแบบที่มีการใช้ระบบดูดความชื้นเมื่อความชื้นสูงขึ้นถึงจุดที่กำหนดไว้ พัดลมดูดความชื้นจะทำงานเพื่อดูดความชื้นออกจากตู้อบผ่านท่อลำเลียงอากาศ จากนั้นทำการวัดค่าทุกๆ หนึ่งชั่วโมง จากนั้นบันทึกผลลัพธ์ลงในตารางที่ 3-1



รูปที่ 3-1.5 การแบ่งพื้นที่ออกเป็น 8 ส่วนแล้วพิจารณาเมื่อเวลาผ่านไปทุกๆ 1 ชั่วโมง
เปรียบเทียบกับ การเปิดและไม่เปิดพัสดม

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลความแตกต่างของค่าความชื้นภายในตู้อบแต่ละตำแหน่ง

p_i / t_j	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
p_1	moi_{11}	moi_{12}	moi_{13}	moi_{14}	moi_{15}	moi_{16}
p_2	moi_{21}	moi_{22}	moi_{23}	moi_{24}	moi_{25}	moi_{26}
p_3	moi_{31}	moi_{32}	moi_{33}	moi_{34}	moi_{35}	moi_{36}
p_4	moi_{41}	moi_{42}	moi_{43}	moi_{44}	moi_{45}	moi_{46}
p_n	moi_{n1}	moi_{n2}	moi_{n3}	moi_{n4}	moi_{n5}	moi_{n6}

กำหนดให้

p_i คือ ความชื้นที่แตกต่างกันระหว่างการใช้พัดลมและไม่ได้ใช้ในตำแหน่งที่ $i = 1, 2, 3, \dots, 8$

t_j คือ ความชื้นที่แตกต่างกันระหว่างการใช้พัดลมและไม่ได้ใช้ในเวลาที่ $j = 1, 2, 3, \dots, 6$

moi_{ij} คือ ความเร็วของพัดลมการกระจายความร้อน

การหาความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบ ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 6 ตำแหน่งในแต่ละบริเวณความชื้น และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าความแตกต่างของค่าความชื้นระหว่างการใช้พัดลมและไม่ได้ใช้ในแต่ละตำแหน่ง โดยในแต่ละตำแหน่งจะทำการตรวจสอบซ้ำทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์จะอธิบายจากความแตกต่างของความชื้น ยิ่งความแตกต่างมากก็แสดงให้เห็นว่าพัดลมดูดความร้อนส่งผลต่อประสิทธิภาพการอบมะขามเปรี้ยวมากเท่านั้น เมื่อความชื้นลดลงการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามเปรี้ยวก็เกิดขึ้นได้ยากขึ้น ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น

3.2.2 การตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยทั่วทั้งตู้อบและประสิทธิภาพการกระจายความร้อน

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนและการกระจายความร้อนภายในตู้อบมะขามนั้น ผู้วิจัยได้สรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคือ การควบคุมความเร็วรอบของพัดลมกระจายความร้อน 2 ตัวให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยใช้วิธีการแบ่งพื้นที่เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของตู้อบออกเป็นบริเวณ (นริศรา และ ศักดิ์ชัย ,2562)

ตาราง 3-2 ตารางเก็บค่าผลการตรวจวัดอุณหภูมิที่เวลาผ่านไปเท่ากับ t

$p_i \backslash f_j$	f_1			f_2		
	fs_{11}	fs_{12}	fs_{13}	fs_{21}	fs_{22}	fs_{23}
p_1	Tem_{111}	Tem_{112}	Tem_{113}	Tem_{121}	Tem_{122}	Tem_{123}
p_2	Tem_{211}	Tem_{212}	Tem_{213}	Tem_{221}	Tem_{222}	Tem_{223}
p_3	Tem_{311}	Tem_{322}	Tem_{333}	Tem_{321}	Tem_{322}	Tem_{323}
p_4	Tem_{41}	Tem_{42}	Tem_{43}	Tem_{44}	Tem_{45}	Tem_{46}
p_n	Tem_{n1}	Tem_{n2}	Tem_{n3}	Tem_{n4}	Tem_{n5}	Tem_{n6}

กำหนดให้

p_i คือ ตำแหน่งภายในตู้อบที่ $i = 1, 2, 3, \dots, 8$

f_j คือ ตำแหน่งพัดลมตัวที่ $j = 1, 2, 3, \dots, 6$

fS_{ij} คือ ความเร็วของพัดลมตำแหน่งพัดลมตัวที่ $i = 1, 2, 3, \dots, 6$ ความเร็วที่ $k = 1, 2, 3$

Tem_{ijk} คือ ความร้อนของตำแหน่งที่ i พัดลมตัวที่ j และ ความเร็วที่ k

โดยคณะผู้วิจัยได้ แบ่งพื้นที่ความร้อนโดยใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิทั้งหมด 8 จุดทั่วทั้งตู้อบ โดยแต่ละการตั้งค่าจะหาค่าเฉลี่ย 3 ครั้ง เมื่อเวลาผ่านไป 30 40 และ 60 นาที การออกแบบการทดลองผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล แบบสามระดับ 3^k เพื่อทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วลมของพัดลม 2 ตัว โดยวัดผลจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยรวมทั้งหมด 8 จุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิทั้ง 8 จุด หากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานยิ่งน้อยก็จะแสดงว่าระบบการกระจายความร้อนมีประสิทธิภาพสูง (นริศรา และ ศักดิ์ชัย ,2562)

การทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบสามระดับ 3^2 หรือ 2 ปัจจัย คือ พัดลมตัวที่ 1 และ 2 โดยที่แต่ละตัวมี 3 ระดับ ประกอบด้วย ความเร็วรอบที่ อยู่ในระดับต่ำ กลาง และสูง ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 3-2 การวัดผลจะพิจารณาจาก ความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้ง 8 จุด ซึ่งจะถูกบันทึกผลลัพธ์ลงในตาราง 3-3 ก่อนนำผลลัพธ์อภิปรายร่วมกับผลลัพธ์จากการ ข้อมูลความแตกต่างของค่าความชื้นภายในตู้อบแต่ละตำแหน่ง

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างผลลัพธ์การทดลองการเปรียบเทียบความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอุณหภูมิของตู้อบมะขาม

การทดลอง ซ้ำที่	30 นาที		40 นาที		60 นาที	
	$\bar{X}$	$S.D.$	$\bar{X}$	$S.D.$	$\bar{X}$	$S.D.$
1	$X1_{30}$	$SD1_{30}$	$X1_{40}$	$SD1_{40}$	$X1_{60}$	$SD1_{60}$
2	$X2_{30}$	$SD2_{30}$	$X2_{40}$	$SD2_{40}$	$X2_{60}$	$SD2_{60}$
3	$X3_{30}$	$SD3_{30}$	$X3_{40}$	$SD3_{40}$	$X3_{60}$	$SD3_{60}$
เฉลี่ย	$\sum_{x=1}^3 X_{30}$	$\sum_{x=1}^3 SD_{30}$	$\sum_{x=1}^3 X_{40}$	$\sum_{x=1}^3 SD_{40}$	$\sum_{x=1}^3 X_{60}$	$\sum_{x=1}^3 SD_{60}$

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองทั้งหมดทั้ง 3 ระยะ ประกอบด้วย ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรต้นแบบ การทดสอบการทำงานเบื้องต้น การทดสอบเพื่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนของตู้อบกับ แรงลมที่ได้รับจากความเร็วลมของใบพัด และเครื่องต้นแบบ ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์และการอภิปรายผลลัพธ์จากการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรต้นแบบ



รูปที่ 4-1 ตู้อบลมร้อน



รูปที่ 4-2 ระบบการควบคุมพัดลมระบายอากาศและแผงควบคุมความร้อนแบบควบคุมป้อนกลับ



รูปที่ 4-3 แผงกระจายอุณหภูมิและพัดลมระบายอากาศ

การออกแบบและพัฒนาสามารถทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เครื่องจักรสามารถอบมะขามเปียวอัดก้อนได้ถึง 50 กิโลกรัม และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในรูปแบบที่ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 65 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถลดเวลาอบได้สั้นลง ประมาณ 3 ชั่วโมงครึ่งจากวิธีการตากแดด ส่วนในช่วงเวลากลางคืน สามารถทำงานได้โดยใช้พลังงานต่ำกว่าตู้อบทั่วไป

4.2 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบการดูดความชื้นจากกระบวนการอบ

จากการพิจารณาการตรวจวัดความชื้น ทั้งเวลาจุดเมื่อเวลาเปลี่ยนไปตั้งแต่ 1-6 ชั่วโมงพบว่าเมื่อขึ้นงานมีความชื้นอยู่มาก อัตราระยะห่างของความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบจะมีสูง เนื่องจากเนื้อมะขามเปียวอัดก้อนก่อนอบนั้นค่อนข้างมีความชื้นสูง

ตาราง 4-1 แสดงผลลัพธ์ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์โดยไม่ใช้ระบบการดูดความชื้น

p_i / t_j	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
p_1	190.57	172.66	134.59	109.45	90.47	49.67
p_2	190.6	171.6	132.66	120.67	89.64	50.72
p_3	198.53	180.66	132.62	120.48	85.55	41.55
p_4	206.47	176.57	140.64	111.59	89.46	48.64
p_5	191.63	173.58	152.61	113.66	87.52	45.66
p_6	203.66	170.54	141.52	123.52	82.66	35.51

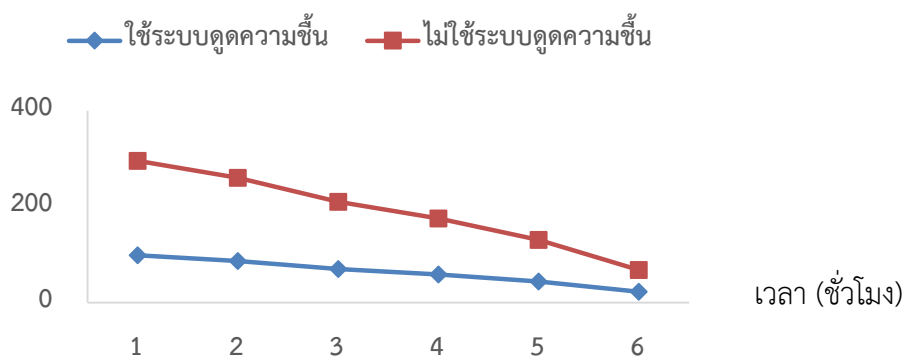
p_i / t_j	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
p_7	203.66	176.46	139.72	122.47	86.55	51.71
p_8	190.61	166.7	145.62	114.48	84.55	39.71
$\bar{x}$	196.96	173.59	139.99	117.04	87.05	45.39

ตาราง 4-2 แสดงผลลัพธ์ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้ระบบการดูดความชื้น

p_i / t_j	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
p_1	106.765	76.23	64.32	38.755	19.35	13.3
p_2	100.8	73.25	63.805	41.335	19.25	7.28
p_3	96.255	74.285	63.84	37.275	13.86	7.33
p_4	110.285	82.3	64.78	37.85	15.34	9.785
p_5	99.285	73.73	69.83	39.27	18.34	9.81
p_6	105.74	75.76	61.255	40.86	19.31	12.27
p_7	100.765	74.275	62.34	38.845	17.35	11.33
p_8	103.285	82.77	66.76	38.785	12.725	10.26
$\bar{x}$	102.89	76.57	64.61	39.12	16.94	10.17

ซึ่งส่งผลไปยังความแตกต่างของการเปรียบเทียบการระบบกับดูดความชื้นกับไม่ดูด ซึ่งถ้าหากไม่มีการใช้พัดลมดูดความชื้น มีร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 196.96 ในช่วงแรก และ ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนเหลือเพียง 45.39 ส่วนถ้าหากมีการใช้พัดลมดูดความชื้นในกระบวนการอบ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 102.89 ในช่วงแรก และ ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนเหลือเพียง 10.17 ดังที่แสดงผลลัพธ์ในตาราง แสดงผลลัพธ์ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ ตามตาราง 4-1 และ 4-2

ค่าความชื้น (RH)

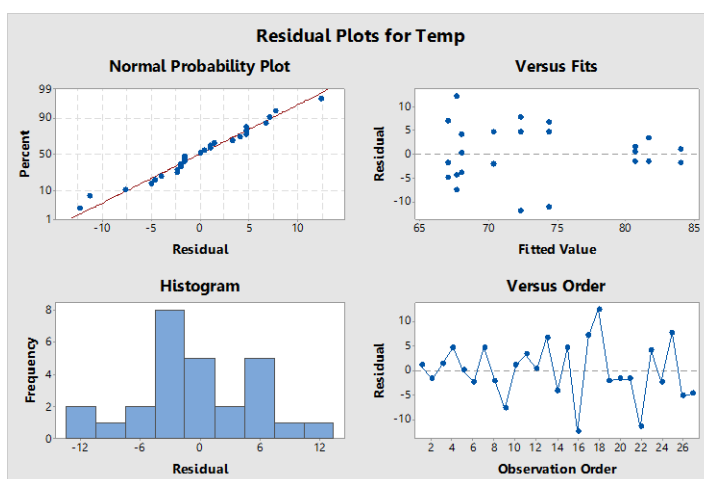


รูปที่ 4-4 ความแตกต่างของการเปรียบเทียบการระบบกับควบคุมความชื้นกับไม่คุม

4.3 ผลลัพธ์การทดสอบสมรรถนะตู้อบควบคุมความร้อนควบคุมความชื้นแบบควบคุมป้อนกลับ

4.3.1 การทดลองออกแบบการกระจายความร้อนและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

การหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความร้อนและการกระจายความร้อนที่เหมาะสม ใช้การสุ่มวัดความร้อนทั่วตู้อบ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงนาที่ที่ 20 และใช้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยและการกระจายความร้อนที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % หรือมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

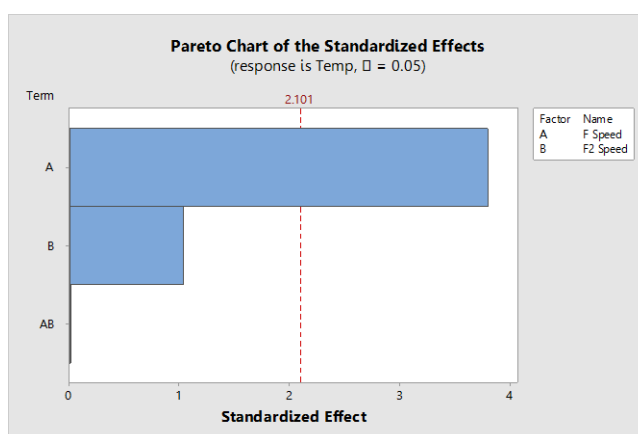


รูปที่ 4-5 การตรวจสอบหาค่าการเป็นปกติของข้อมูล

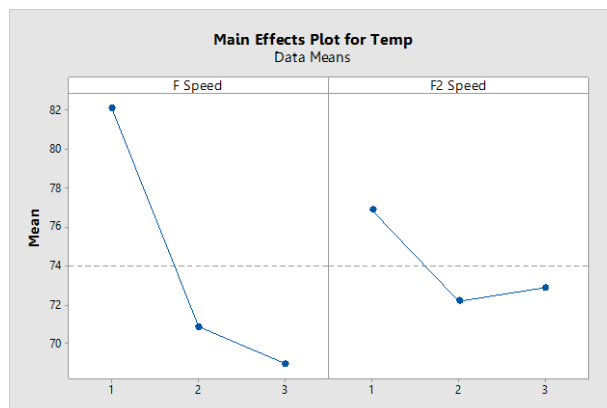
ตาราง 4-3 แสดงค่า P – value ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนภายในตู้อบ

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	1034.00	129.250	2.80	0.033
Linear	4	1018.89	254.722	5.52	0.004
F Speed	2	904.22	452.111	9.80	0.001
F2 Speed	2	114.67	57.333	1.24	0.312
2-Way Interactions	4	15.11	3.778	0.08	0.987
F Speed*F2 Speed	4	15.11	3.778	0.08	0.987
Error	18	830.00	46.111		
Total	26	1864.00			

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยของพัฒนาการกระจายความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยการปรับความเร็วลมความร้อนที่ความเร็วระดับที่ 1 มีผลมากที่สุด ซึ่งสามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจน โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 ส่วนใบพัดตัวที่ 2 หรือพัฒนาการกระจายความร้อน มีค่า P – Value เท่ากับ 0.312 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีผลอย่างมีนัยยะสำคัญ



รูปที่ 4-6 Pareto Chart



รูปที่ 4-7 Main Effects เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อน

แต่อย่างไรก็ตาม ควรปรับค่าความเร็วใบพัดลมสำหรับกระจายความร้อนและพัดลมดูดความชื้นไว้ที่ระดับที่ 1 เนื่องจาก ในระดับที่ 1 เป็นระดับที่ทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นได้ดีที่สุดใน 3 ระดับ

ตาราง 4-4 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 70 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ย
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ครั้งที่ 1	17	14	12	11	15.90
ครั้งที่ 2	16	15	13	13	7.67
ครั้งที่ 3	16	17	12	12	12.29

จากการทดลองอบไล่ความชื้นในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 ดังที่แสดงในตารางที่ 4-2 พบว่ามะขามมีค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 40-50 ซึ่งมากที่สุดเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิที่สูงมาก และสีของมะขามมีลักษณะเข้มขึ้นจากเดิมจนเห็นได้ชัด จนเริ่มมีกลิ่นไหม้ โดยค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ ครั้งที่ 1 ซึ่งความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 12-15 ตามลำดับ และจากการกรีดเพื่อตรวจสอบพบว่าด้านในมะขามไม่มีความชื้นสะสม แต่เนื้อมะขามที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการจำหน่ายสินค้า นอกจากผลิตภัณฑ์มีได้จะต้องมีให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค แล้ว มตราฐานในเรื่องของความสะอาด การปราศจากการปนเปื้อนของสารเคมี สถานประกอบการที่ถูกสุขลักษณะ และอีกหนึ่งประเด็นที่สำคัญคืออายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากผักและผลไม้มักจะมีอายุในการเก็บรักษาที่ไม่ยาวนานนัก ยิ่งถ้าหากต้องขนส่งเพื่อจำหน่ายในสถานที่ที่ห่างไกลอาจต้องใช้เวลาเป็นเดือนๆ สินค้าอาจจะหมดอายุหรือเสื่อมคุณภาพก่อนที่จะถึงมือผู้บริโภค งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุให้กับมะขามเปียกอัดก้อน โดยประยุกต์ใช้ระบบการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการอบด้วยความร้อน เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของเนื้อมะขาม และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา โดยการทดลองตั้งแต่เริ่มอัดก้อนจนถึงการบรรจุภัณฑ์จะอยู่ในภายในโรงเรือนที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันเชื้อโรคจากภายนอกเข้ามาปะปนในผลิตภัณฑ์

การออกแบบและพัฒนาสามารถทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เครื่องจักรสามารถอบมะขามเปียกอัดก้อนได้ถึง 50 กิโลกรัม และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในรูปแบบที่ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 65 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถลดเวลาอบได้สั้นลง ประมาณ 3 ชั่วโมงครึ่งจากวิธีการตากแดด ส่วนในช่วงเวลากลางคืน สามารถทำงานได้โดยใช้พลังงานต่ำกว่าตู้อบทั่วไป จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยของพัฒนาการกระจายความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่ความชื้นที่ 95 % โดยการปรับความเร็วลมความร้อนที่ความเร็วระดับที่ 1 มีผลมากที่สุด ซึ่งสามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจน โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 ซึ่งจากกราฟผลกระทบหลักพบว่าควรปรับค่าความเร็วใบพัดลมสำหรับกระจายความร้อนและพัดลมดูดความชื้นไว้ที่ระดับที่ 1 เนื่องจาก ในระดับที่ 1

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

- 5.2.1 ความชื้นเริ่มต้นในมะขามแต่ละก้อนที่นำมาทดสอบไม่เท่ากัน ทำให้ไม่สามารถควบคุมการทดลองได้
- 5.2.2 ไม่มีการทดสอบการกระจายความร้อนก่อนวางเซนเซอร์ในการวัดความร้อนและความชื้น
- 5.2.3 การทำความร้อนยังไม่สามารถทำให้ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ 100% ทำให้ยังมีต้นทุนด้านการใช้ไฟฟ้าอยู่
- 5.2.4 ควรมีผลการทดสอบในส่วนของการเชื่อมต่อที่เรียกว่าเพื่อพิสูจน์ว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 แนวทางการแก้ปัญหา

- 5.3.1 ควรหาแนวทางในการควบคุมความชื้นของมะขามเปียกอัดก้อน
- 5.3.2 ควรหาแนวทางในการวางแผนการวางจุดวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าการวางจุดเซนเซอร์มีความสัมพันธ์กับความชื้นทั่วทั้งตู้อบ
- 5.3.3 ลดกำลังวัตต์ในการให้ความร้อนเพื่อให้สามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้ 100% เพื่อเป็นการลดต้นทุน
- 5.3.4 ควรมีการทดสอบเชื่อมต่อแบบที่เรียในเนื้อมะขามเพื่อให้ทราบว่าตู้อบสามารถยังแบตเตอรี่ได้

5.4 แนวทางในการพัฒนา

เนื่องจากเครื่องต้นแบบมีบางส่วนที่ต้องปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้มีประสิทธิภาพ ในการทำงานที่เพิ่มขึ้น โดยคณะผู้ศึกษาจึงได้เสนอแนวทางไว้ดังนี้

- 5.4.1 ออกแบบให้สามารถทำงานกับพลังงานทางเลือกได้อย่าง 100
- 5.4.2 ควรเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีราคาแพงลง แต่ยังคงหาแนวทางในการรักษาอุณหภูมิให้ดีขึ้นเพื่อการลดต้นทุน
- 5.4.3 การเคลื่อนย้ายสามารถทำได้ยากเนื่องจากตู้มีขนาดใหญ่ ควรออกแบบให้มีขนาดพอที่จะใช้รถกระบะในการขนส่งได้

ในอนาคตข้างหน้าทางคณะผู้วิจัยหวังว่า คงมีการพัฒนาประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น และสามารถพัฒนาเครื่องต้นแบบอัดมะขามเปียกให้มีประสิทธิภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, “การออกแบบเครื่องจักรกล 1”, ครั้งที่ 3 ,พศ. 2536, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม.
- วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, “การออกแบบเครื่องจักรกล 2”, ครั้งที่ 2 , พศ. 2535, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม.
- ปารามาศ ชูติมา.การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ เหลืองไพบูลย์ พงศ์ชนัน. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: ท็อป,2551
- ชาญ ถนัดงาน. (2541). การออกแบบเครื่องจักรกล. กรุงเทพมหานคร. ซีเอ็นยูเคชั่น.
- ปารามาศ ชูติมา.การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ เหลืองไพบูลย์ พงศ์ชนัน. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: ท็อป,2551
- พิทยพันธ์ สิทธิรักษ์.มาตรฐานการออกแบบเรขาคณิต บนบรรจุภัณฑ์สำหรับสมุนไพรไทย. วิทยานิพนธ์ศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานฤมิตรศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2547
- ธิดิยา ทองเกิน.การศึกษาการตลาดมะขามเปรี้ยวในการพัฒนาสู่กลยุทธ์ผลิตภัณฑ์มะขามเปรี้ยวสำเร็จรูป.วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทั่วไป วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,2548
- สิทธิชัย เชนทร.การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2549
- นิติพงษ์ ใจสิน. การคัดแยกฝักมะขามหวานด้วยวิธีการแปรรูปภาพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 2549

- ขวัญเรือน เมฆหมอก. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะนาวแปรรูปของกลุ่มสตรีสหกรณ์เครดิตยูเนียนท่าขาม
สามัคคีจำกัด อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี. การศึกษาด้วยตนเอง ,ศิลปศาสตรบัณฑิต
มหาบัณฑิตสาขาการออกแบบบรรจุภัณฑ์ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร,2549
- ถาวร ราชรองเมือง.การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2549
- นางสาวปริชาต สบาย และนางสาวสุนาร ราชศรี. การลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำตาลปี๊บและมะขามเปียก.
รายงานฉบับสมบูรณ์,งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
นครราชสีมา, 2549
- วรวิทย์ วรรณวิน. เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก. รายงานฉบับสมบูรณ์การวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากทุน
วิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลพระนคร.กรุงเทพฯ, 2550
- ขุนแผน ตุ่มทองคำ. การออกแบบบรรจุภัณฑ์ใยกายข้าวเปลือก. รายงานฉบับสมบูรณ์,งานวิจัยได้รับทุน
สนับสนุนจากทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.เพชรบูรณ์, 2551
- อิศรพงษ์ พงษ์ศิริ .อายุการเก็บรักษาของใบมะกรูดที่อบแห้งโดยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้อบลมร้อน
แบบถาดและตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2553
- ณัฐพล ชัยพิทักษ์นันท์. การตรวจสอบฝักมะขามหวานเสียโดยวิธีการประมวลภาพ. รายงานการวิจัยที่
รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์, 2555
- ดุษฎี ชัยสุข.การพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนวิชาฟิสิกส์เรื่อง ความร้อนของ
ไหล และพลังงานยังยืน.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี,2555
- สุพล แนวตัน.การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงาน
แสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
,2555
- ประเสริฐ สิงห์คำ และคณะ.เครื่องปั่นเนื้อมะขามแก้ว. สารนิพนธ์ปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชา
เทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์,2556

- ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์. การศึกษาสมรรถนะของชุดถอดรอกมะขาม : กรณีศึกษามะขามหวานพันธุ์ประกายทอง. รายงานการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์, 2556
- ลัดดา โสภณรัตน์. อิทธิพลของการออกแบบบรรจุภัณฑ์ต่อกระบวนการตัดสินใจของผู้บริโภค. วิทยานิพนธ์นิเทศศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการโฆษณา คณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556
- นิทัศน์ วัฒนธรรม. การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบท้อความร้อนจากกระป๋องเครื่องดื่มใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556
- กาญจนา คุ่มม่วง. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเปรี้ยวเข้มข้นสำเร็จรูปของผู้บริโภคในเขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร. กรุงเทพมหานคร, 2557
- วิทยา หนูช่างสิงห์ และ ธนภัทร มะณีแสง, “การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกะเทาะเปลือกมะขาม,” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม สมุทรปราการ ประเทศไทย, 30-31 ตุลาคม, 2557
- สถาบันมะขามหวาน [online] แหล่งเข้าถึง : <http://agritech.pcru.ac.th/new/page/tamarineinst.html> , คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ [26 ตุลาคม 2557.]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องจักร

ภาคผนวก ข
ระบบการทำงานเครื่องจักรที่สร้างสำเร็จแล้ว



ภาพตู้ควบคุมป้อนกลับแบบปิด



ภาพตู้ควบคุมป้อนกลับแบบเปิด



ภาพระบบควบคุมความชื้นและระบบทำความร้อนด้านหน้า



ภาพตู้ควบคุมการทำงานและไฟบอกสถานะ



ภาพระบบดูความชื้นและระบบทำความร้อนหลัง



ภาพระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

ภาคผนวก ค

ผลลัพธ์จากการออกแบบการทดลอง

ตารางแสดงผลพหุร้อยละความขึ้นสัมพันธ์โดยไม่ใช้ระบบการดูความขึ้น

p_i / t_j	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
p_1	190.57	172.66	134.59	109.45	90.47	49.67
p_2	190.6	171.6	132.66	120.67	89.64	50.72
p_3	198.53	180.66	132.62	120.48	85.55	41.55
p_4	206.47	176.57	140.64	111.59	89.46	48.64
p_5	191.63	173.58	152.61	113.66	87.52	45.66
p_6	203.66	170.54	141.52	123.52	82.66	35.51
p_7	203.66	176.46	139.72	122.47	86.55	51.71
p_8	190.61	166.7	145.62	114.48	84.55	39.71
$\bar{x}$	196.96	173.59	139.99	117.04	87.05	45.39

ตารางแสดงผลพหุร้อยละความขึ้นสัมพันธ์โดยใช้ระบบการดูความขึ้น

p_i / t_j	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
p_1	106.765	76.23	64.32	38.755	19.35	13.3
p_2	100.8	73.25	63.805	41.335	19.25	7.28
p_3	96.255	74.285	63.84	37.275	13.86	7.33
p_4	110.285	82.3	64.78	37.85	15.34	9.785
p_5	99.285	73.73	69.83	39.27	18.34	9.81
p_6	105.74	75.76	61.255	40.86	19.31	12.27
p_7	100.765	74.275	62.34	38.845	17.35	11.33
p_8	103.285	82.77	66.76	38.785	12.725	10.26
$\bar{x}$	102.89	76.57	64.61	39.12	16.94	10.17

ประวัตินักวิจัย

ประวัติคณะนักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล นายธนภัทร มณีแสง
Mr. Thanapat Maneesaeng

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. ตำแหน่งทางวิชาการ -

5. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000

โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1608

6. ประวัติการศึกษา

วศ.ม.(วิศวกรรมการจัดการ)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การวิจัยดำเนินการ การจำลองสถานการณ์ เมตาฮิวริสติกส์

8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

8.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

การบูรณาการเพื่อยกระดับมาตรฐานกระบวนการผลิตมะขามแปรรูปอัดก้อนให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดเพชรบูรณ์

8.2 หัวหน้าโครงการ

2563 (โครงการวิจัยย่อย) การพัฒนาระบบการควบคุมป้องกันในกระบวนการอบเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในมะขามแปรรูปและการศึกษาปัจจัยที่ส่งผล

ต่อการยืดอายุการเก็บรักษา [แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน: ผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)] [ผู้อำนวยการแผนฯ: ธนภัทร มะณีแสง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2562 การพัฒนากรรมวิธีการยืดอายุการเก็บรักษามะขามคลุกเพื่อการส่งออก [แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน: นักวิจัยรุ่นใหม่]

ผู้ร่วมวิจัย

2562 การเพิ่มประสิทธิภาพกรรมวิธีการแปรรูปมะขามจัดจืด สำหรับธุรกิจชุมชน [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : เพื่อสร้างองค์ความรู้พื้นฐานของประเทศ] [หัวหน้าโครงการฯ : นายวิทยา หนูช่างสิงห์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2561 ออกแบบและพัฒนาเครื่องแล่ปลาเพื่อแปรรูป ปลาน้ำจืด โดยการเชื่อมโยงเทคโนโลยีร่วมกับภูมิปัญญาชาวบ้าน : กรณีศึกษา กลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผลิตภัณฑ์ จากปลาน้ำจืดในจังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างความเข้มแข็ง] [หัวหน้าโครงการฯ : นายวิทยา หนูช่างสิงห์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2559 การเพิ่มผลผลิตผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนโดยวิธีการศึกษาการการทำงานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านกุดกุ่ม ตำบลบึงคล้า อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : สร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ] [หัวหน้าโครงการฯ : นายวิทยา หนูช่างสิงห์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2558 การพัฒนาสารไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนวัสดุกันกระแทกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : พัฒนาชุมชนและท้องถิ่น] [หัวหน้าโครงการฯ : นางสาวบุษบากร คงเรือง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2558 การพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดออกจากเนื้อมะขามหวานสำหรับใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ประกอบการแปรรูปมะขามหวาน จังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : พัฒนาชุมชนและท้องถิ่น] [หัวหน้าโครงการฯ : นายวิทยา หนูช่างสิงห์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2558 การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้ามหานครในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏ

เพชรบูรณ์] [ประเภททุน : พัฒนาชุมชนและท้องถิ่น] [หัวหน้าโครงการฯ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปัญญา เทียนนาวา คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

9. บทความวิจัยที่ได้รับการนำเสนอใน วารสาร การประชุมวิชาการระดับชาติ และนานาชาติ

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 : การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

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

วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง และ ขวัญนิธิ คำเมือง นำเสนอผลงานวิจัย เรื่อง การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกะเทาะเปลือกมะขาม รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม (IE Network Conference 2014) ระหว่าง วันที่ 30 - 31 ตุลาคม พ.ศ. 2557 ณ โรงแรมโนโวเทล สยามปิ่นสุพรรณภูมิ

ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ เอร่าวัน ชาญพหล และธนภัทร มะณีแสง (2558). การออกแบบและพัฒนาชุดกลไกการกรอกน้ำจิ้ม.การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 1 "งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น"งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น", 59-65

วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง และ นรุตว์ รัตนวัย (2558).การออกแบบและสร้างเครื่องปั่นเนื้อมะขามแก้ว.การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ “ราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3”

ปัญญา เทียนนาวา ธนภัทร มะณีแสง และ ขวัญนิธิ คำเมือง (2559).การศึกษา ระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. รายงานสืบเนื่องจากการประชุม วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย

วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง (2559). **การพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดออกจากเนื้อมะขามหวาน**. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 16 และรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3 "งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น

วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง (2559). **การประยุกต์ใช้วิธีอานานิคมดเพื่อจัดเส้นทางท่อเกี่ยวในอำเภอเขาค้อ**. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8 , ภูเก็ต ประเทศไทย

วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง (2560). **การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์โดยวิธีการสร้างแบบจำลองและวิธีอานานิคมด**. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยหมู่บ้านจอมบึง, ปีที่ 6 ฉบับที่ 1, หน้า 74-88

วิทยา หนูช่างสิงห์ และธนภัทร มะณีแสง (2561). **การพัฒนาวิธีการทำขนมทองม้วนโดยประยุกต์ใช้ระบบวิธีการวัดเวลา**. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย, เพชรบุรี ประเทศไทย, หน้า 125-135 วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย, เพชรบุรี ประเทศไทย, หน้า 125-135

ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล นายวิทยา หนูช่างสิงห์
Mr. Wittaya_Nuchangsing

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. ตำแหน่งทางวิชาการ -

5. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1608
Email wittaya_992000@yahoo.com

6. ประวัติการศึกษา

วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการ)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ค.อ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

วิศวกรรมเครื่องมือกล

8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

8.1 หัวหน้าโครงการ

2563 (โครงการวิจัยย่อย) การพัฒนาเครื่องอัดก้อนมะขามเปรี้ยวโดยใช้ระบบนิวแมติกส์สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : ผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกว.)] [ผู้อำนวยการแผนฯ : ธนภัทร มะณีแสง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2562 การเพิ่มประสิทธิภาพกรรมวิธีการแปรรูปมะขามจัดจืด สำหรับธุรกิจชุมชน [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : เพื่อสร้างองค์ความรู้พื้นฐานของประเทศ]

2561 ออกแบบและพัฒนาเครื่องแล่ปลาเพื่อแปรรูป ปลาน้ำจืด โดยการเชื่อมโยงเทคโนโลยีร่วมกับภูมิปัญญาชาวบ้าน : กรณีศึกษา กลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผลิตภัณฑ์ จากปลาน้ำจืด

ในจังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างความเข้มแข็ง]

2559 (โครงการวิจัยย่อย) การเพิ่มผลผลิตผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนโดยวิธีการศึกษาการทำงานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านกุดกุ่ม ตำบลบึงคล้า อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : สร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ] [ผู้อำนวยการแผนฯ : ปัญญา เทียนนาวา คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2559 การพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามหวานสำหรับการแปรรูปมะขามหวานของกลุ่มผู้ประกอบการแปรรูปมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : สร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ]

2558 การพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดออกจากเนื้อมะขามหวานสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ประกอบการแปรรูปมะขามหวาน จังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : พัฒนาชุมชนและท้องถิ่น]

2557 โครงการพัฒนาเครื่องกรอก - ปอกข้าวหลาม [แหล่งทุน : กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี]

2553 ศึกษาความคิดเห็นของนักศึกษาที่ใช้เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาเศรษฐศาสตร์อุตสาหกรรม [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : การเรียนการสอน]

2552 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบแยกเนื้อมะขาม [แหล่งทุน : IRPUS (สกว.)]

2551 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องแล่นเนื้อปลาลำตัวแบนด้วยมีดเดี่ยววางตัว [แหล่งทุน : IRPUS (สกว.)]

8.2 ผู้ร่วมโครงการ

2559 การปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลผลิตขนมทองม้วนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านกุดกุ่ม ตำบลบึงคล้า อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์] [ประเภททุน : สร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ] [หัวหน้าโครงการฯ : ปัญญา เทียนนาวา คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

2558 การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม [แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏ

เพชรบูรณ์] [ประเภททุน : พัฒนาชุมชนและท้องถิ่น] [หัวหน้าโครงการฯ : ปัญญา เทียนนาวา คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]

9. บทความวิจัยที่ได้รับการนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติ และนานาชาติ

2560 การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเปลือกมะขาม วิทยา หนูช่างสิงห์

1, ธนภัทร มะณีแสง2 [แหล่งตีพิมพ์ : การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 4 วันที่ 10 มีนาคม 2560 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์]

2560 การพัฒนาวิธีการทำขนมทองม้วนโดยประยุกต์ใช้ระบบวิธีการวัดเวลา

วิทยา หนูช่างสิงห์1, ธนภัทร มะณีแสง2 [แหล่งตีพิมพ์ : การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ครั้งที่ 5 วันที่ 1 มีนาคม 2560]

2559 การพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดออกจากเนื้อมะขามหวานวิทยา หนูช่าง

สิงห์1, ธนภัทร มะณีแสง2 [แหล่งตีพิมพ์ : การประชุมสัมมนาวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 16 และการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น” วันที่ 22 กรกฎาคม 2559 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์]

2558 การออกแบบและสร้างเครื่องปั่นเนื้อมะขามแก้ว วิทยา หนูช่างสิงห์,น

รัตน์ รัตน์วัย, ธนภัทร มะณีแสง [แหล่งตีพิมพ์ : การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ และนานาชาติ "ราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3" สหวิทยาการ งานวิจัย และนวัตกรรมอุดมศึกษาเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นไทย ก้าวไกลสู่อาเซียน วันที่ 20 - 22 พฤษภาคม 2558 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช]

2557 การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกะเทาะเปลือกมะขาม วิทยา หนูช่างสิงห์ [แหล่งตีพิมพ์ : การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2557 30 - 31 ตุลาคม 2557]