



รายงานการวิจัย

การพัฒนกรรมวิธีการยืดอายุการเก็บรักษามะขามคลุกเพื่อการส่งออก

Development of Prolonging Storage Life Sugar Topped with

Tamarind Processing for Export

ธนภัทร มณีแสง

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากรรมวิธีการยืดอายุการเก็บรักษามะขามคลุกเพื่อการส่งออก

Development of Prolonging Storage Life Sugar Topped with

Tamarind Processing for Export

ชนภัทร มะณีแสง

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งบประมาณเงินรายได้ของมหาวิทยาลัย โดยผ่านการพิจารณาจากสำนักงาน

คณะกรรมการบริหารงานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประเภททุนวิจัยสนับสนุนนักวิจัยรุ่นใหม่

ประจำปีงบประมาณ 2562

ชื่องานวิจัย	การพัฒนากรรมวิธีการยืดอายุการเก็บรักษามะขามคลุกเพื่อการส่งออก
ผู้วิจัย	ธนภัทร มณีแสง
ผู้ร่วมวิจัย/ที่ปรึกษา	-
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการผลิต
	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุความชื้นที่เกิดขึ้นและยืดอายุระยะเวลาเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังจากการอบแห้งและบรรจุสินค้า เพื่อแก้ปัญหาความชื้นที่ทำให้คุณภาพ สี และรสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปส่งผลให้เวลาระยะเวลาการเก็บรักษาและเวลาขายสินค้าสั้นลง บางครั้งสินค้าถูกปฏิเสธและตีกลับสร้างความเสียหายให้แก่ผู้ประกอบการโดยมุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์มะขามคลุก ทั้ง 3 สายพันธุ์ที่นิยมในตลาดต่างประเทศ ในการดำเนินงานวิจัยจะประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดโอกาสการเกิดความชื้นของมะขาม เช่น ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน เวลาที่เหมาะสมและวิธีการให้ความร้อน เพื่อสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงของเนื้อมะขามเมื่อเวลาผ่านไป จากนั้นใช้วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจส่งออก จากการทดลองพบว่าในหาค่าตั้งค่าดูบให้ได้อ่าความร้อนเฉลี่ยที่สูงที่สุด ภายใน 10 นาที ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 14 องศาเซลเซียส หรือร้อยละ 93 จากค่าความร้อนเฉลี่ยสูงสุด และมีค่าการกระจายความร้อนอยู่ที่ประมาณ 2.63 ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องปรับมุมของแผ่นสเตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนไปที่มุม 60° 45° 90° 315° และ 270° ส่วนผลลัพธ์จากการทดลองในระยะที่ 2 พบว่าผู้ปฏิบัติงานควรปรับค่าอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 ชั่วโมงเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการผลิต และไม่ให้คุณสมบัติดั้งเดิมของเนื้อมะขามในทุกๆ สายพันธุ์เปลี่ยนไป และเมื่อนำมะขามที่ผ่านการอบไล่ความชื้นไปทดสอบหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้ ในระยะที่ 3 พบว่ามะขามที่นำมาทดสอบมีค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้อยู่ในระดับ 0.6 ถึง 0.7

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง กลุ่มวิสาหกิจชุมชน มะขามคลุก

Title	Development of Prolonging Storage Life SugarTopped with Tamarind Processing for Export
Author	Thanapat Maneesaeng
Co-Researcher	Production Technology
Branch	Production Engineering Phetchabun Rajabhat University

Abstract

This research is to study the processing of aquatic products of Aquaculture Community Enterprises in Phetchabun province. Objective to increase productivity in productive production. It focuses on developing innovative technologies for use in the development of production processes. The researcher had the idea to create a fishing machine for the small scale processing business of the community in Phetchabun province. The experiment was divided into 3 phases. First, the fish was used in the preliminary experiment with the group of freshwater fish processing community. Phase 3 was designed experiment after improvement of the defects derived from suggestions and words. Introduced from the early stages. The third stage is to test the fish and fish with a round and long body. The results of the experiments show that, in the first stage, the results of the assessment of the representative of the farmer in fresh water fish and freshwater fish farmers were considered. The most satisfactory aspect was that the evaluators were satisfied. The blade is made of stainless steel. And in security. Phase 2 has been designed to optimize the machine's ability to function fully with flat-body fish. The experiment was divided into 4 times, which wasted time setting. But the result is that the machine can fish out. It was found that 90% efficiency in the third phase was the implementation of the machine was adjusted to work effectively. The fish is round and long. The results of the experiment. The machine is not suitable for fish with round and long body. In the future, the researcher must develop tools to support the fish with a long round to make the machine can work more effectively.

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

กิตติกรรมประกาศ

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

ธนภัทร มะณีแสง

30 กรกฎาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของ โครงการวิจัย	3
1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการ	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การแปรรูปมะขามเปรี้ยว	6
2.2 การถนอมอาหาร	6
2.3 การอบแห้ง.....	10
2.4 มะขาม.....	12
2.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE).....	16
2.5 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ 3^k	19
2.5 โปรแกรม Minitab	22
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	26
3.1 การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยความร้อน	26
3.2 การหาช่วงอุณหภูมิในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสม	29
3.3 การทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (Water Activity)	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	32
4.1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดความชื้น	32
4.2 การหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสม	40
4.3 การทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี (Water Activity).....	46
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการวิจัย	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก แบบตู้อบมะขาม.....	54
ภาคผนวก ข ตารางสรุปค่าความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	60
ภาคผนวก ค การทดลองการอบมะขามเบื้องต้นตั้งแต่เวลา 1 ชั่วโมง ถึง 6 ชั่วโมง.....	65
ประวัติคณะผู้วิจัย.....	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลการกำหนดมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางฯ.....	28
3-2 ตัวอย่างผลลัพธ์การทดลองการเปรียบเทียบความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน.	29
3-3 ตัวอย่างตารางผลลัพธ์การหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสายพันธุ์ศรีชมภู	30
3-4 ตารางเปรียบเทียบค่า วอเตอร์แอกทिवิตี ก่อนและหลังจากการอบไล่ความชื้น	30
4-1 หาค่าที่ดีที่สุดหาจุดสมดุลเพื่อให้ได้การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่สูงที่สุดและ การกระจายความร้อนในตู้อบที่ดีที่สุด	40
4-2 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 45 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	42
4-3 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 55 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	44
4-4 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 65 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	44
4-5 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 45 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง.....	43
4-6 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 55 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง.....	44
4-7 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 65 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง.....	44
4-8 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 45 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	45
4-9 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 55 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	45
4-10 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการ อบที่อุณหภูมิ 65 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	45
4-11 ตารางเปรียบเทียบค่า วอเตอร์แอกทिवิตี ก่อนและหลังจากการอบไล่ความชื้นของ มะขาม.....	46

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 กล้วยตากหนึ่งในวิธีการยืดระยะเวลาการเก็บรักษากล้วย	8
2-2 ผลไม้อบแห้ง.....	11
2-3 มะขามหวานพันธุ์สีทอง.....	13
2-4 มะขามหวานพันธุ์จันทร์.....	13
2-5 มะขามหวานพันธุ์อิทผลัด.....	14
2-6 มะขามหวานพันธุ์ประทอง	14
2-7 มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูทองปลิง	15
2-8 ปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง.....	16
2-9 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^2	19
2-10 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^3	20
2-11 ตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab	22
3-1 การแบ่งพื้นความร้อนที่แตกต่างกันภายในตู้อบ.....	27
3-2 ภาพตู้อบแบบลมร้อน.....	27
4-1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที	33
4-2 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที.....	33
4-3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบ เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที.....	34
4-4 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที	35
4-5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที.....	35
4-6 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที.....	35
4-7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที.....	36
4-8 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที	36
4-9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที.....	37

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

4-10	ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที.....	37
4-11	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที.....	38
4-12	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไป 5 จนถึง 15 นาที	38
4-13	ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไป 5 จนถึง 15 นาที.....	39
4-14	Optimization Plot	39
4-15	เครื่องวัด % ความชื้น Moisture Meter TK00S	41
4-16	เครื่องวัด % ความชื้น Moisture Meter TK00S	41
4-17	การวัดค่าความชื้นก่อนและหลังการอบมะขาม	43
4-18	ตัวอย่างมะขามหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยได้ขึ้นชื่อว่าเป็นศูนย์กลางแห่งอาหารของโลก อุดมสมบูรณ์ไปด้วยพืชพันธุ์ธัญญาหารที่มีความหลากหลาย และมีศักยภาพในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลายชนิดออกสู่ผู้บริโภคภายในประเทศได้ตลอดทั้งปี อีกทั้งยังสามารถนำส่วนเกินที่เหลือจากการบริโภคภายในประเทศ นำเงินตราเข้าประเทศเป็นจำนวนมากโดยสามารถทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาท ในปัจจุบันความต้องการบริโภคผลไม้ฉบับวันจะเพิ่มสูงขึ้น สาเหตุมาจากประชากรส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจเรื่องสุขภาพมากขึ้น ในการผลิตผลไม้ได้ว่าประเทศไทยมีสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อปลูก ทำให้สามารถปลูกผลไม้เมืองร้อนได้หลากหลายชนิด ซึ่งเป็นข้อดีในการทำให้มีผลไม้หมุนเวียนออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี จากข้อมูลสถิติในปี 2559 ผลไม้สดไทยมีจำนวนการส่งออกสูงถึง 1,432,685 ล้านบาท หรือมูลค่ารวมกว่า 3.8 หมื่นล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2558 กว่าร้อยละ 5 ปัจจัยหนุนจากความนิยมของผู้บริโภคในประเทศจีนและเวียดนาม ในปี 2559 ทั้งสองประเทศนำเข้าผลไม้เมืองร้อนมากกว่าร้อยละ 80 ของตลาดประเทศไทย จากสถิติแสดงให้เห็นถึงความต้องการบริโภคผลไม้ฉบับวันจะเพิ่มสูงขึ้น สำหรับผลไม้ที่เป็นที่นิยมมากที่สุดของผู้บริโภคชาวจีนเวียดนาม ได้แก่ทุเรียน มังคุด ลำไย มะพร้าวอ่อน มะม่วง ขนุน กุ้ง ลิ้นจี่ ลองกอง และหนึ่งในนั้นคือ มะขาม ซึ่งเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของจังหวัดเพชรบูรณ์ จากข้อมูลของพาณิชย์จังหวัดเพชรบูรณ์พบว่าจีนเป็นแหล่งค้ามะขามแหล่งใหญ่ของจังหวัดเพชรบูรณ์ และนอกจากจีนแล้วยังมีแหล่งจำหน่ายมะขามในต่างประเทศอื่นๆ ประกอบด้วย เวียดนาม สหรัฐอเมริกา อินเดีย ซาอุดีอาระเบีย และสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์

มะขามเป็นผลไม้ที่มีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาผลไม้ชนิดอื่น ปลูกง่าย โตเร็ว แข็งแรงทนทานต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้ง อีกทั้ง มะขามหวานเป็นผลไม้ชนิดเดียวของไทยที่ไร้คู่แข่งในตลาดโลก เพราะไม่มีประเทศไหนที่ปลูกได้ดีและรสชาติหวานเหมือนประเทศไทย จำยังเป็นที่ต้องการของหลายประเทศ ที่สำคัญยังเป็นผลไม้ที่เกษตรกรไม่ต้องรีบขาย สามารถเก็บไว้ได้นานเป็นเดือน ซึ่งมะขามหวานเพชรบูรณ์ได้รับการจดทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Thai Geographical Indication) หรือตราสัญลักษณ์ GI จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ซึ่งสาเหตุที่มะขามหวาน

เพชรบูรณ์ได้ตรา GI นั้น เพราะสภาพดินฟ้าอากาศที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเจ้าผลไม้ชนิดนี้ ทำให้มะขามหวานเพชรบูรณ์มีฝักใหญ่ เปลือกสีน้ำตาลเนียนสวย เนื้อหนาหวานสม่ำเสมอ มีรสหวานหอม แตกต่างจากจังหวัดอื่น พันธุ์มะขามที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์สีทอง พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ประกายทอง เทพเพียงมะลัง (2553) ถ้าหากพิจารณาข้อมูลของเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์พบว่าในปี 2558 จังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ปลูกมะขามหวานประมาณ 46,529 ไร่ ซึ่งปลูกมากที่สุดที่อำเภอเมือง อำเภอชนแดน และ อำเภอหล่มเก่า ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ถึง 38 ล้านกิโลกรัม (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์) มะขามหวานเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้แก่ผู้ปลูกอย่างมาก มะขามหวานเป็นพืชสัญลักษณ์สำคัญของจังหวัดเพชรบูรณ์มานาน และมีมูลค่าส่งออกที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วง 5 ปี จาก 739 ล้านบาทในปี 2554 เพิ่มขึ้นเป็น 1,262 ล้านบาทในปี 2558

ถึงมะขามจะเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและเป็นผลไม้ที่มีราคาแพง แต่มะขามยังมีปัญหาที่สำคัญคือเรื่องของแมลงและการเกิดเชื้อราในมะขาม ส่งผลต่อการตัดสินใจในการบริโภคของผู้บริโภค ทำให้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งมะขามมีราคาที่ตกต่ำ เกษตรกรจึงตัดสินใจเลิกปลูกมะขามเป็นจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการเพื่อป้องกันเชื้อราและแมลงที่อาจเกิดขึ้นในเนื้อมะขาม เช่น การเก็บมะขามไว้ในห้องเย็น การอบไอน้ำเพื่อใช้ความร้อนฆ่าแมลง และกรรมวิธีการแปรรูปมะขาม แต่ยังสามารถคงไว้ซึ่งคุณภาพของมะขามได้ในบางส่วนเท่านั้น ผู้ประกอบการจึงได้หาวิธีในการแปรรูปมะขามเพื่อตอบสนองการให้แก่ผู้บริโภค จากเดิมผู้บริโภคซื้อมะขามมา 1 กิโลกรัม อาจรับประทานได้เพียงไม่กี่ฝักเพราะมีเชื้อราหรือแมลงอยู่ในมะขามทำให้ต้องทิ้ง แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนามะขามอบแห้งบรรจุในบรรจุภัณฑ์อย่างดีทำให้ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ทุกฝัก ทำให้มะขามกลับมาเป็นต้องการและมีมูลค่าสูงขึ้น มะขามหวานน้องมาด เริ่มก่อตั้งเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 โดยการดำเนินธุรกิจนี้เป็นรุ่นที่ 2 ต่อจากคุณแม่ มีชื่อว่า สุกนิคมะขามหวาน โดยทางสถานประกอบการมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 5 ชนิดได้แก่ มะขามฝัก มะขามแคะเมล็ด มะขามคลุกบ๊วย มะขามคลุกน้ำตาล และมะขามจี๊ดจ๊าด โดยในปี 2559 มีการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเพื่อส่งจำหน่ายภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งปกติผู้ประกอบการมีคำสั่งซื้อเท่ากับกว่า 3,000 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ แต่บ่อยครั้งที่มะขามที่ส่งต้องใช้เวลาเดินทางกว่า 1 เดือน กว่าที่จะถึงจุดหมายมะขามมักจะเกิดความชื้น ทำให้คุณภาพ สี และรสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปส่งผลให้เวลาระยะเวลาการเก็บรักษาและเวลาขายสินค้าลดลง บางครั้งสินค้าถูกปฏิเสธและตีกลับสร้างความเสียหายให้แก่ผู้ประกอบการ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุความชื้นที่เกิดขึ้นและยืดอายุระยะเวลาเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังจากการอบแห้งและบรรจุสินค้า โดยมุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์มะขามคลุก ทั้ง 3 สายพันธุ์

ประกอบด้วย พันธุ์สีชมพู พันธุ์ขันตีและสีทอง ซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดต่างประเทศ ในการดำเนินงานวิจัยจะประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดโอกาสการเกิดความชื้นของมะขาม เช่น ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน เวลาที่เหมาะสม และวิธีการให้ความร้อน เพื่อสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงของเนื้อมะขามเมื่อเวลาผ่านไป จากนั้นใช้วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (Water Activity) เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจตัดสินใจคัดสรรส่งออกสินค้าในแต่ละรอบการขนส่ง

1.2 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

ควบคุมการเกิดความชื้นในมะขามคลุกแบบมีเมล็ดและยืดอายุเวลาการเก็บรักษาเพื่อการส่งออก

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.3.1 สำรวจข้อมูลและร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาจากกรรมวิธีการผลิตมะขามคลุกจากสถานประกอบการมะขามหวานน้อยมาดและไร่บุญคง

1.3.2 กำหนดขอบเขตของปัญหา จัดเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์ สำหรับใช้ในการทดลอง

1.3.3 ออกแบบการทดลอง กำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อโอกาสการเกิดความชื้น กำหนดวิธีการทดลอง

1.3.4 ดำเนินการทดลองตามแผนและบันทึกผลลัพธ์

1.3.5 วิเคราะห์และอภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองไปทดสอบหาค่า แอคทีวิตีของน้ำหรือ วอเตอร์แอคทีวิตี (Water Activity)

1.3.6 ถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีสู่ผู้ประกอบการและประชาชนที่สนใจ รวมถึงนำผลการวิจัยมาบูรณาการเข้ากับการจัดการเรียนการสอน

1.3.7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและหาข้อควรปรับปรุง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาการทำวิจัยในอนาคต

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ วิทยากรชุมชนกลุ่มแปรรูปมะขามไร่บุญคง

1.4.2 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ขันตี และสีทอง

1.4.3 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ระยะที่ 1 ศึกษากระบวนการและกรรมวิธีการผลิตมะขามคลุกและกระบวนการอบไล่ความชื้น

ระยะที่ 2 กำหนดวิธีการให้ความร้อน ช่วงความร้อนและเวลาที่เหมาะสม กับการไล่ความชื้นในมะขามก่อนคลุก เก็บตัวอย่างเปรียบเทียบความชื้นที่เกิดขึ้น จากนั้นใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดโอกาสการเกิดความชื้นในผลิตภัณฑ์

ระยะที่ 3 ส่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากกระบวนการออกแบบการทดลอง ไปทดสอบเพื่อหา ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (Water Activity) เพื่อใช้ประกอบผลลัพธ์จากการทดลอง

1.4.4 ขอบเขตด้านพื้นที่

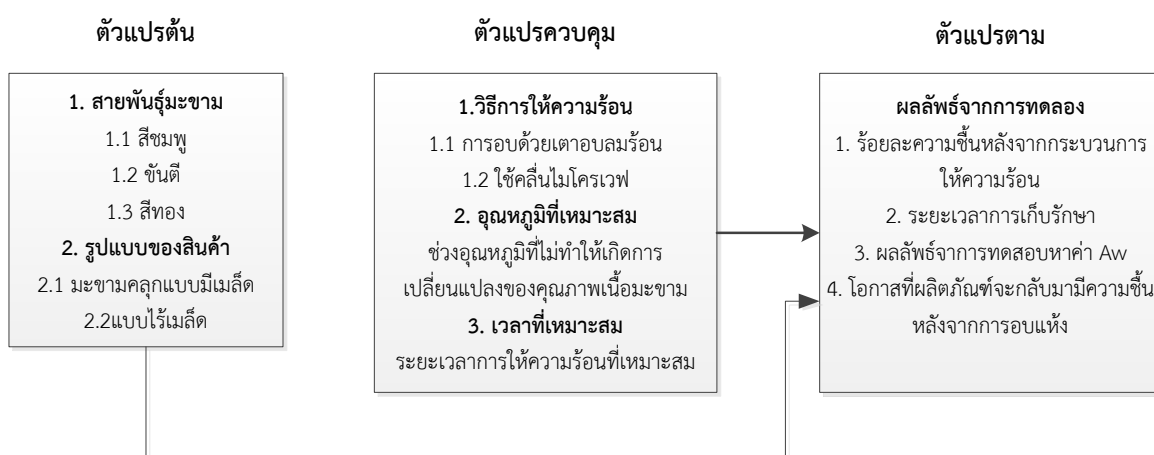
1.4.4.1 ใช้อาคารปฏิบัติการ 18/6 คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เป็นสถานที่ออกแบบและสร้างเครื่องจักร

1.4.4.2 พื้นที่ในการวิจัยเพื่อศึกษาข้อมูลประกอบการดำเนินการวิจัย ได้แก่ สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบูรณ์ วิทยาลัยชุมชนฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ฯลฯ

1.4.5 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 12 เดือน

1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการ



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 พันธกิจบริการวิชาการที่สร้างประโยชน์ให้แก่ชุมชน

1.6.2.2 ความร่วมมือทางวิชาการและความสัมพันธ์ที่ดีของมหาวิทยาลัย ภาครัฐ และสถานประกอบการ

1.6.2.3 ช่วยให้ผู้ประกอบการศึกษาได้รับการยอมรับจากชุมชนและตลาดแรงงาน

1.6.3 ประโยชน์ต่อสังคมและชุมชน

1.6.3.1 การรวมตัวกันของเกษตรกรในการประกอบธุรกิจในระดับชุมชน มีความมั่นคง ได้รับการรับรองตามกฎหมาย มีมาตรฐานที่ตอบสนองความต้องการแก่ผู้บริโภค

1.6.3.2 การส่งเสริมความรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่น การพัฒนาความสามารถในการจัดการตรงตามความต้องการที่แท้จริง

1.6.3.3 ระบบเศรษฐกิจชุมชนมีความเข้มแข็งพึ่งพาตนเองได้ มีความพร้อมที่จะพัฒนาสำหรับการแข่งขันทางการค้าในอนาคต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้คณะผู้วิจัยจะกล่าวถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับมะขาม ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตมะขามหวานอบแห้ง ความรู้ด้านการออกแบบและสร้างเครื่องจักรที่นำมาใช้พัฒนากระบวนการแปรรูปมะขาม การออกแบบการตลาดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแปรรูปมะขามหวาน

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

ปัจจุบันมะขามหวานที่เกษตรกรปลูกประสบปัญหาทำให้ปริมาณและคุณภาพดำนมะขามหวานมีรสชาติอมเปรี้ยว ผักเถ็ก เนื้อแห้ง มีปัญหาการเกิดเชื้อราและแมลงทำลาย หรือมะขามที่ออกนอกฤดูกาลเป็นมะขามที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์จะสุกในฤดูฝนถัดไป ทำให้เกิดเชื้อราทั้งหมด และเกิดผลเสียตามมาคือทำให้มะขามในฤดูกาลออกน้อย เพราะมีมะขามนอกฤดูกาลติดอยู่บนต้น ต้องตัดทิ้งตอนตัดแต่งกิ่ง ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น หากนำมาแปรรูปก็จะสามารถนำสิ่งที่ไม่เป็นประโยชน์มาเพิ่มมูลค่ามะขามเปรี้ยวสามารถนำผลผลิตมาใช้ในการประกอบอาหารเป็นหลัก ทั้งในส่วนของใบอ่อน ผลดิบ และผลสุก นิยมนำมาประกอบอาหารเป็นหลักทำให้อาหารมีรสเปรี้ยวเป็นธรรมชาติซึ่งปัจจุบัน มีการเก็บผลสุกนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด และมีการส่งเสริมตั้งแต่ระดับครัวเรือนกลุ่มเกษตรกร ไปจนถึงในรูปของบริษัท

2.2 การถนอมอาหาร

2.2.1 ความหมาย

นักวิชาการได้ให้ความหมายของการถนอมอาหารไว้หลายลักษณะ ซึ่งพอจะประมวลได้ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2521 : 8) ได้ให้ความหมายของการถนอมอาหาร สรุปผลได้ว่าการถนอมอาหาร คือ การเก็บรักษาอาหาร โดยกรรมวิธีต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่ใกล้เคียงกับของสดมากที่สุด โดยไม่ให้อายุเสียคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ ตลอดทั้งยังมี ลักษณะทางคุณภาพซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

กรมอาชีวศึกษา (2526 : 1) ได้กล่าวไว้ว่า “การถนอมอาหาร หมายถึง วิธีการที่ทำให้อาหารเก็บได้นานกว่าปกติโดยไม่บูดเสีย”

ถ้วน ขาวหนู (2534 : 362) ได้ให้ความหมายของการถนอมอาหาร สรุปได้ว่า วิธีการใด ๆ ก็ตาม ที่ทำให้เก็บอาหารไว้บริโภคได้นานกว่าธรรมดาโดยที่อาหารนั้นยังคงสภาพดี ไม่เกิดการสูญเสียทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ

จันทน์ วุฒิสวรรณ (2534 : 15) ได้ให้ความหมายของการถนอมอาหารไว้ว่า “การถนอมอาหาร คือ การกระทำด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อที่จะได้พืชหรือผลผลิตที่เหลือกินเหลือใช้กิน ความต้องการแล้วเก็บไว้นานวัน ความคงทน และการใช้รับประทานในเวลาต่อไป โดยไม่เสียหาย รวมทั้งวิธีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอาหารให้เปลี่ยนแปลงรูปร่างของอาหารให้แปลกและมากขึ้น”

เต็มศิริ วิสเพ็ญ (2536 : 30-34) การถนอมอาหาร คือ วิธีการที่จะเก็บอาหารไว้ ได้นานและไม่ให้อาหารเน่าเสีย สำหรับชาวอีสานมีวิธีการถนอมอาหารตั้งแต่สมัยโบราณสืบต่อกันมา

จรรยา วัฒนทวีกุล (2545 : 26-31) การถนอมอาหาร หมายถึง การเก็บรักษา อาหาร หรือแปรรูปอาหารให้อยู่ในสภาพที่เก็บได้นานขึ้นโดยไม่บูดเสีย ซึ่งผลของการถนอมอาหาร จะช่วยยืดอายุการเก็บชะลอการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะที่ดีของอาหารไว้ นอกจากนี้การถนอมอาหารยังสามารถช่วยให้มีอาหารบริโภคอย่างทั่วถึงกัน เช่น ในบางพื้นที่ของโลกมีผักผลไม้บริโภคตลอดปีแต่ในอีกแถบหนึ่งอาจขาดแคลน จำเป็น ต้องพึ่งพาอาหารจากที่อื่น การถนอมอาหารจึงช่วยให้คนที่อยู่ในที่ที่ขาดแคลนได้บริโภคเช่นเดียวกันได้การถนอมอาหารมี หลายวิธี บางวิธีทำได้ง่ายโดยสามารถทำได้ในระดับครัวเรือน แต่บางวิธีต้องทำในระดับ อุตสาหกรรม ซึ่งอาหารที่ถนอมแล้วบางอย่างเก็บได้หลายวัน บางอย่างเห็นได้เป็นเพื่อน และ บางอย่างเก็บได้เป็นแรมปีก็ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในการถนอมอาหารนั้น ไม่เพียงแต่หาวิธี ป้องกันมิให้อาหารเน่าเสียเท่านั้น ยังต้องพยายามให้อาหารมีสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และคงคุณค่า ทางโภชนาการไว้ให้เหมือนอาหารสดมากที่สุด ยกเว้นจะจงใจให้อาหารนั้นมีรูปแบบหรือกลิ่นรส แปลกออกไป เช่น แหนม ผักกาดดอง ผลไม้แช่อิ่ม ไวน์ ปลารมควัน เพื่อจะได้เลือกวิธีการถนอมอาหาร ได้อย่างเหมาะสม สำหรับสาเหตุการเน่าเสียของอาหารส่วนใหญ่เกิดจาก



รูปที่ 2-1 กุ้งตากหนึ่งในวิธีการยืดระยะเวลาการเก็บรักษากุ้ง
ที่มา : การตากกุ้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, 21 ตุลาคม 2560

2.2.2 การถนอมอาหารมีหลายวิธี แต่มีหลักการใหญ่ ๆ ดังนี้

2.1.3.1 การถนอมอาหาร โดยใช้วิธีการทางกายภาพ ได้แก่

การใช้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์ และเอนไซม์ การใช้ความร้อน แบ่งตามระดับความร้อนได้ 2 วิธี คือ การใช้ความร้อนสูง เรียก การสเตอริไลส์ (Sterilization) สามารถทำลายจุลินทรีย์ในอาหารได้หมด และการใช้ความร้อนต่ำ เรียก การพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization) ซึ่งทำลายจุลินทรีย์ได้เพียงบางส่วน ในการพิจารณาว่าจะใช้ความร้อนขึ้นใดในการ ถนอมอาหาร จำเป็นต้องทราบชนิดของจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารดังกล่าว รา ยีสต์ และแบคทีเรียส่วนใหญ่จะตายที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำคืออุณหภูมิระหว่าง 60 ถึง 65 องศาเซลเซียส แต่มีแบคทีเรียบางชนิดสามารถทนความร้อนได้สูงขึ้น โดยการสร้างสปอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำลายสปอร์ ด้วยการใช้ความร้อนสูง เป็นต้น อาหารที่ถนอมโดยวิธีการใช้ความร้อน เช่น การทำเครื่องดื่มบรรจุขวด การทำอาหารบรรจุกระป๋อง

การใช้ความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของอาหาร เช่น การแช่เย็น การแช่แข็ง สำหรับการแช่เย็นสามารถเก็บอาหารได้ในระยะสั้น ส่วนการแช่แข็งจะเก็บได้นานกว่า อาจ เป็นปีถ้าผ่านกรรมวิธีที่เหมาะสมและอาหารนั้นยังมีลักษณะและคุณภาพคล้ายอาหารสด

การกำจัดหรือลดปริมาณน้ำในอาหาร เช่น การทำแห้งด้วยการ คากแดด หรือในปัจจุบันได้มีการออกแบบเป็นตู้อบแสงแดด ที่ช่วยประหยัดเวลาและผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังสะอาดถูกสุขลักษณะนอกจากนี้ยังมีการทำให้แห้งด้วยเครื่องจักรอื่น ๆ เช่น ตู้อบลมร้อน เครื่องพ่นฝอย เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบอบแห้งเยือกแข็ง

อาบรังสี ช่วยยืดอายุของอาหาร ช่วยลดการสุกของผลไม้ และ ยังช่วยยืดอายุการงอกของพืชบางชนิด เช่น มันฝรั่ง หอมหัวใหญ่

การถนอมอาหาร โดยใช้จุลินทรีย์ ได้แก่ การหมักดอง ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

- การหมักดองเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์ เช่น การทำเบียร์ ข้าวหมาก ไวน์จากผลไม้ต่าง ๆ

- การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดน้ำส้ม เช่น การทำน้ำส้มสายชูหมัก

- การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดแลกติก เช่น การทำผักดองเปรี้ยว ผลไม้ดอง

การถนอมอาหารโดยใช้น้ำตาล ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม คือ มากกว่าร้อยละ 40 เช่น น้ำผลไม้เข้มข้น แยม เกลลี นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม อาหารดังกล่าวเก็บได้นานเนื่องจากแรงดันออสโมซิสของน้ำตาลสูง ทำให้สภาพของอาหาร ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ แต่บางกรณีอาจมีจุลินทรีย์บางชนิดเติบโตได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่นควบคู่ด้วย เช่น การบรรจุขณะร้อน การฆ่าเชื้อบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์

2.1.3.6 การถนอมอาหารโดยใช้สารเคมี สารเคมีที่ใช้เพื่อการถนอมอาหาร ได้แก่ สารที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย สารป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ของอาหาร โดยชนิดและปริมาณที่ใช้ต้องเป็นไปตามพระราชบัญญัติอาหาร กระทรวงสาธารณสุข กลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 1 กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อการแปรรูปและ ถนอม ผลผลิตทางการเกษตร โดยมุ่งเน้นให้ได้ผลงานที่เป็นประโยชน์และสามารถถ่ายทอด ประชาชนได้และ ได้รวบรวมผลงานการแปรรูปที่แล้วเสร็จดังกล่าวจัดทำเป็นเอกสารเพื่อเผยแพร่ เช่น ผลิตภัณฑ์มะนาวกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ ขนุน เงาะ ลิ้นจี่ ลำไย ทูเรียน มะม่วง กระเจี๊ยบ ซึ่ง

เยาพา ฮาคิมิ (2549 : 10) อาหารเป็นหนึ่งในปัจจุบันที่มีความจำเป็นต่อการ ดำเนินชีวิตของมนุษย์ การถนอมอาหารได้ เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจาก พฤติกรรมการบริโภคอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากคนส่วนใหญ่ต้องการความ สะดวก รวดเร็ว และต้องการเก็บรักษาอาหารไว้บริโภคได้นาน ๆ การถนอมอาหารตั้งแต่สมัย โบราณ โดยชาวโรมันค้นพบการรมควันเนื้อสัตว์ การหมัก เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การทำเนยแข็ง จนกระทั่งปี ค.ศ. 1864 หลุยส์ ปาสเตอร์ ได้พบว่าไวน์ และเบียร์ เกิดการบูดเสียจากสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ที่เรียกว่า “จุลินทรีย์” มีผู้ให้คำจำกัดความของการถนอมอาหารไว้หลาย อย่าง ซึ่งอาจสรุปได้ว่า การถนอมอาหารเป็นการเก็บรักษาอาหารไว้ให้ได้นาน โดยไม่ทำให้อาหาร นั้นเกิดการเสื่อมเสีย และยังคงอยู่ในสภาพที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.2.3 ความสำคัญของการถนอมอาหารการถนอมอาหารมีประโยชน์

2.1.4.1 ช่วยบรรเทาความขาดแคลนอาหารเช่นการเก็บรักษาและแปรรูปอาหาร ในยามสงคราม เกิดภัยธรรมชาติ เกิดภาวะแห้งแล้งผิดปกติ

2.1.4.2 ช่วยให้เกิดการกระจายอาหาร เพราะในบางประเทศไม่สามารถผลิตอาหาร ให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากร ได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยอาหารจากแหล่งผลิตอื่น

2.1.4.3 ช่วยให้มีอาหารบริโภคนอกฤดูกาลเช่นเมื่อพ้นฤดูกาลผลิตของผลิตผลเกษตร นั้น ๆ ไปแล้วก็ยังสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้มาบริโภคได้

2.1.4.4 ใช้อาหารเหลือให้เลประโยชน์ เช่น ในกระบวนการแปรรูปผลผลิต การเกษตร จะมีวัตถุดิบเหลือทิ้ง ซึ่งเวลาสามารถนำส่วนที่เหลือนั้นมาแปรรูปเก็บไว้เป็นอาหารได้

2.1.4.5 ช่วยให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยที่อาหาร ไม่น่าเสีย สามารถ พกพาไปที่ห่างไกลได้

2.1.4.6 ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไว้ให้ได้นาน เพราะอาหารที่ผ่านการแปรรูป เพื่อการถนอมอาหารไว้จะมีอายุการเก็บที่ยาวนานกว่าอาหารสด

2.1.4.7 ช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร และลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด

2.3 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 2-2 ผลไม้อบแห้ง

ที่มา : ผลไม้อบแห้ง, 23 ม.ค. 2019

2.3.1 การอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

เป็นระบบการอบแห้งแบบระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยกระแสลมที่พัดเป็นตัวกลางพาความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยมีลักษณะของการทำงานดังนี้

2.3.1.1 เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัตถุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ

2.3.1.2 ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัตถุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใส่อบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น

2.3.1.3 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัตถุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านการอบแห้ง

2.3.2 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

2.3.2.1 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน ใช้กระแสลมร้อนสัมผัสกับวัตถุดิบ เช่น ตู้อบลมร้อน (Hot air dryer) โดยจะใช้ Blower ในการเป่าลมร้อน จากแหล่งพลังงานความร้อนคือ Heater ไปยังวัตถุดิบ การนำไปประยุกต์ใช้ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ในการอบแห้งวัตถุดิบในทางอุตสาหกรรม เพื่อทำให้วัตถุดิบแห้ง ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการต่อไป ข้อดีคือ สามารถทำการอบแห้งได้ในอัตราการผลิตที่คงที่

ประสิทธิภาพในการทำงานสูง ควบคุมการทำงานได้ดี แต่ข้อเสียคือวิธีนี้สิ้นเปลืองพลังงานมาก เพราะจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง ในการสร้างความร้อน และหมุน Blower

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

2.4 มะขาม

มะขามเป็นไม้เขตร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาแถบประเทศซูดาน ต่อมามีการนำเข้ามาในประเทศไทยแถบเขตร้อนของทวีปเอเชีย และประเทศแถบลาตินอเมริกา ในปัจจุบันมีมากในประเทศไทย เม็กซิโก การปลูกมะขามหวานในประเทศไทยในแต่ละพื้นที่ พันธุ์มะขามที่ปลูกจะแตกต่างกันออกไป โดยพันธุ์มะขามหวานที่นิยมปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์มีดังนี้

2.4.1 พันธุ์มะขามหวาน

พันธุ์หมื่นจง เปลือกของฝักเป็นสีน้ำตาลเข้มเนื้อสีเหลืองเหมือนฟักทองกวนเปลือกลำต้นเข้มเกือบดำ ใบใหญ่สีเขียวสด ใบไม่มาก และไม่หนาทึบ ฝักมีขนาดปานกลาง ฝักโค้งเป็นรูปวงรี บางฝักโค้งเกือบจรดกัน เมล็ดเล็ก เนื้อหนา มีรสหวานเป็นมะขามพันธุ์หนักเก็บเกี่ยวช้าฝักแก่เก็บได้ประมาณเดือนกุมภาพันธ์ น้ำหนักฝักประมาณ 30-35 ฝักต่อกิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงถึงร้อยละ 45.20 ข้อเสียของพันธุ์นี้คือ เป็นพันธุ์ที่มีใบน้อย ทำให้ติดดอกออกฝักไม่ค่อยดก และมักออกเว้นปีถ้ากระทบฝนช่วงฝักแก่ฝักจะแตก ในปัจจุบันไม่ค่อยนิยมปลูกกัน

พันธุ์สีทอง เปลือกของลำต้นสีค่อนข้างขาวนวลลายแตกของเปลือกละเอียด ใบใหญ่และบาง ใบมีน้อย ออกดอกช้ากว่าพันธุ์อื่น ๆ ถ้าฝนแรกมาช้าจะออกดอกช้า ลักษณะฝักโค้ง ใหญ่ยาว

เมล็ดเล็ก เป็นพันธุ์ที่มีขนาดฝักใหญ่ เนื่องจากมะขามหวานพันธุ์นี้เป็นมะขามหวานพันธุ์หนัก ฝักเลยแก่ช้า ฝักแก่เก็บได้ราว ๆ ปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม การติดฝักไม่ค่อยจะตก และมักออกปีเว้นปี พันธุ์นี้เคยชนะเลิศการประกวดประเภทฝักโค้งใหญ่มาเกือบทุกปี จำนวนฝักประมาณ 25-30 ฝักต่อกิโลกรัม



รูปที่ 2-3 มะขามหวานพันธุ์สีทอง

ที่มา : ไร่มารีสา



รูปที่ 2-4 มะขามหวานพันธุ์ขันตรี

ที่มา : ข้อมูลมะขามหวานเพชรบูรณ์

พันธุ์ขันตี ใบถี่และเล็ก ใบหนาสีเขียวเข้ม ลักษณะทรงพุ่มคล้ายพันธุ์น้ำผึ้งมาก ลำต้นคล้ายพันธุ์สีทอง คือเปลือกค่อนข้างขาว มีลายแตกตามยาวละเอียดกว่าพันธุ์สีทอง ฝักค่อนข้างตรง แต่ฝักสั้นกว่า และมองเห็นเป็นข้อปล้องชัดเจนกว่าพันธุ์ศรีชมภู ออกดอกเดือนพฤษภาคม และเก็บได้ประมาณต้นเดือนมกราคม ผลผลิตเฉลี่ย 50 กิโลกรัมต่อต้น (อายุ 6-7 ปี) พันธุ์นี้ได้รับการส่งเสริมโดย ทรูนิคม

เหมพนม ครูใหญ่โรงเรียนบ้านท่าพล อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นพันธุ์ที่ผลผลิตคดดีมาก เพราะว่าคดไม่เว้นปี



รูปที่ 2-5 มะขามหวานพันธุ์อินทผลาลัม

ที่มา : ตลาดไท

พันธุ์อินทผลาลัม ลายแตกของเปลือกลำต้นละเอียดพอ ๆ กับหมื่นจงแต่ว่าหยาบกว่าพันธุ์ชันติ ใบเขียวเข้มทึบ ใบใหญ่และถี่ปานกลาง ยอดอ่อนมีสีเขียวอ่อน ทรงพุ่มค่อนข้างไปทางทรงกระบอก ฝักค่อนข้างโค้งบ้างไม่มาก แบนเรียบ ค่อนข้างกลม เนื้อเป็นสีน้ำตาลเหมือนสีเนื้ออินทผลาลัม เนื้อนุ่ม เมล็ดค่อนข้างมีรสชาติอร่อยเฉพาะตัว ฝักแก่ประมาณกลางเดือนธันวาคมถึงปลายเดือนธันวาคม ซึ่งแก่พร้อมกับพันธุ์ศรีชมภู ผลผลิตปานกลาง ทนแล้งได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ แต่มีข้อเสีย คือ มีเมล็ดใหญ่



รูปที่ 2-6 มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง

ที่มา : ข้อมูลมะขามหวานเพชรบูรณ์

พันธุ์ประกายทอง เปลือกของลำต้นเรียบเกลี้ยงเล็กน้อยพันธุ์อินทผลัม แต่สีของเปลือกเป็นสีเทาอ่อน ยอดอ่อนมีสีเขียวอมเหลือง ดอกเหลืองอ่อนเช่นเดียวกับพันธุ์อินทผลัม น่าจะกลายพันธุ์จากอินทผลัม แต่ฝักมีขนาดใหญ่กว่า ฝักกลมตรง โคนเล็กน้อย รสชาติหวานสนิท เมล็ดเล็กกรอบ เปลือกบาง แก่เร็ว เป็นมะขามหวานพันธุ์เบาซึ่งเก็บเกี่ยวได้ในเดือนธันวาคม ในบางปีอาจสุกตั้งแต่มกราคม ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ข้อเสียของพันธุ์ประกายทองคือเกิดเชื้อราสาเหตุมาจากเปลือกบาง เนื้อหนามาก ความชื้นในฝักสูง การเก็บฝักต้องเก็บอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นมะขามหวานที่มีฝักขนาดใหญ่และติดฝักดกสม่ำเสมอ จึงต้องให้ปุ๋ยอย่างพอเพียงเพื่อไม่ให้รสชาติเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2-7 มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูท้องถิ่น

ที่มา : ข้อมูลมะขามหวานเพชรบูรณ์

พันธุ์ศรีชมภู ใบมีสีเขียวแก่ยอดอ่อนสีแดงเข้มออกแดงปนเหลืองมองเห็นได้ชัด ยอดอวบกว่าอินทผลัม ทรงพุ่มเป็นทรงกระบอกแน่นทึบ เปลือกลำต้นสีน้ำตาลเข้มลายแตกของเปลือกต้นหยาบ ฝักใหญ่และยาวค่อนข้างตรงและกลม ที่ตรงฝักมีร่องอกแบนหรือเรียกว่า“ท้องปิ้ง” เปลือกฝักสีน้ำตาลอ่อนปนเทา เนื้อมีรสหวานสนิท บางต้น อมเปรี้ยวนิด ๆ เนื้อสีน้ำตาลอมเหลือง สาแทรก (รก) มีเนื้อน้อย เชื้อหุ้มเมล็ดบางไม่เหนียว ความดกปานกลางถึงดกมาก เป็นมะขามหวานพันธุ์เบารองมาจากพันธุ์น้ำผึ้ง ฝักแก่เก็บได้ประมาณเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตเร็ว มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูนี้มีข้อสังเกตอยู่ว่ารสชาติเปลี่ยนได้ง่ายในบางต้น ตามสภาพดินฟ้าอากาศของแต่ละปี คือถ้าปีไหนแล้งจัด ต้นไม่สมบูรณ์หรือฝนตกชุกเกินไป รสชาติออกมาอมเปรี้ยวบ้าง แต่ไม่ถึงกับเสีย

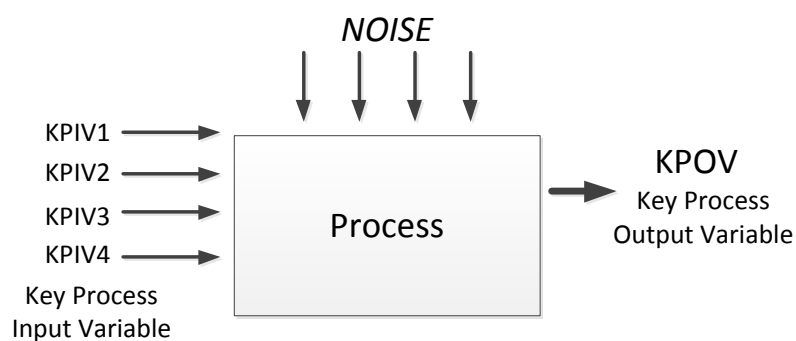
รสชาติมะขามหวานไปมากนัก จุดอ่อนอีกอย่างหนึ่งคือเปลือกบาง ฝักแตกง่าย การเก็บเกี่ยวหรือการบรรจุกล่องหรือการขนส่งต้องทำอย่างระมัดระวัง

2.4.2 ลักษณะของฝักมะขาม แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

ฝักดาบ มีลักษณะฝักค่อนข้างแบนและโค้งเล็กน้อยคล้ายดาบ ฝักฆ้อง มีลักษณะฝักโค้งวนมาเกือบจรดกัน มีลักษณะเหมือนฆ้องวง ฝักดิ่ง มีลักษณะฝักเหยียดตรงค่อนข้างยาว ไม่โค้งงอเหมือน 2 ชนิดแรก ฝักคูก มีลักษณะเป็นปล้อง เปลือกนูนขึ้นมาเป็นเหลี่ยมมองเห็นได้ชัดเจน ในงานวิจัยชิ้นนี้คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูเพราะมีลักษณะเป็นฝักตรงและยาว เนื้อเหนียวหนาซึ่งต่างจากมะขามพันธุ์อื่น และเป็นที่ต้องการของตลาด

2.5 การออกแบบการทดลอง(Design of Experimen : DOE)

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



รูปที่ 2-8 ปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง

ที่มา : ฉลอง สี่แก้วสีว, 2552, 12 มิถุนายน

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย บางตัวเราก็ไม่สามารถควบคุมได้และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อกกระบวนการก็ตาม เราก็จำเป็นต้องละเลยหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวเราไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise เราจะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เราเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV ในขณะเดียวกันเราจะรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆอาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็เป็นที่วัดก็ได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (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 ที่เห็นนั้นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการมาก และ Output factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคนเท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนินั่นเอง เมื่อต้องใช้ DOE นั้นจะไม่นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

2.5.1 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

2.5.1.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ใดในช่วงเวลาใด (Where)

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

2.5.1.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

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

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

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

2.5.1.7 สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะรับรู้ เพื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองบ้างก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็น ของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

2.5.2 ขั้นตอนในการดำเนินการการออกแบบการทดลอง

กำหนดเป้าหมาย ที่จะต้องทำให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้น้อยที่สุด ให้ได้สาระสำคัญของตัวปัจจัยที่เรากำลังพิจารณาให้มากที่สุด ให้ใช้ต้นทุนและเวลาดำเนินการน้อยที่สุด โดยต้องมีกลยุทธ์และวิธีการดำเนินการที่ดี ควรจะเริ่มจากเข้าใจสภาพปัญหาอย่างถ่องแท้ และรู้ว่าตัวผู้ดำเนินการหรือผู้บริหารต้องการสิ่งใดที่ต้องยึดถือและต้องทำให้ได้ 3 ประการ

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

2.5.2.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึงการดำเนินการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่างที่สำคัญคือ เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการ

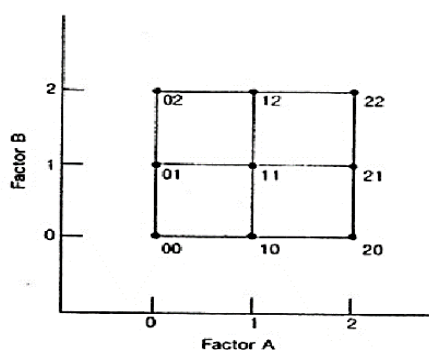
ทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง และเพื่อกำจัดทั้งความคลาดเคลื่อน (Average out) อิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ที่มีต่อปัจจัย เปรียบดังเช่นการหาค่าเฉลี่ยนั่นเอง เป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง

2.5.2.3 การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ของการทดลอง หรือคือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2.6 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ 3^k

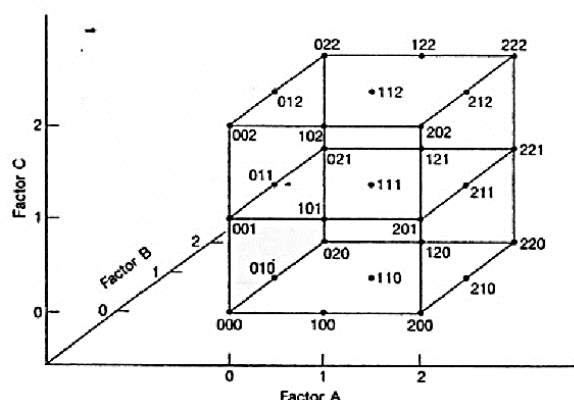
2.6.1 สัญลักษณ์และความเป็นมาของการออกแบบ 3^k

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 2-9 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^2

ที่มา : อรรถกร เก่งพล, 2556, 26 ธันวาคม



รูปที่ 2-10 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 และยังสามารถใช้กับแบบจำลองการถดถอย 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 ไม่ได้เป็นการออกแบบที่ดีที่สุดในการสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์แบบควอดราติก ซึ่งในกรณีเช่นนี้การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

2.6.2 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 อยู่ที่ระดับต่ำ 8 อยู่ที่ระดับกลาง และ C อยู่ที่ระดับสูง 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 เรพลีเคต 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 ให้นำพจน์นี้มายกกำลังสองและตัวเลขยกกำลังจะลดลง โดยใช้สมบัติ 3 ดังภาพสมการ

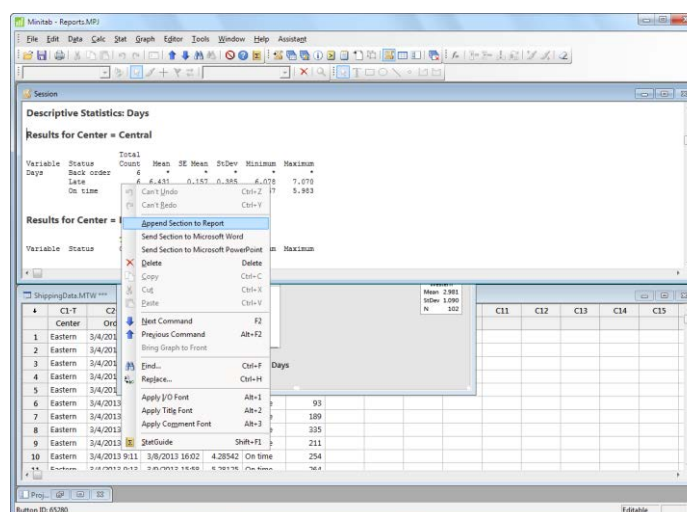
$$A^2BCD = (A^2BCD)^2 = A^4B^2C^2D^2 = AB^2C^2D^2$$

อันตรกิริยาของส่วนประกอบเหล่านี้ไม่มีความหมายในทางกายภาพแต่ประการใด และจะมี ประโยชน์ในการสร้างการออกแบบที่ซับซ้อนจะเห็นได้ว่าขนาดของการออกแบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของตัว k อย่างเช่น การออกแบบ 3^3 จะประกอบด้วย การทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 27 ตัวต่อหนึ่งเรพลีเคต, การออกแบบ 3^4 จะมี 81 ตัว, การออกแบบ 3^5 จะมี 243 ตัว, ..., เช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้น บ่อยครั้งที่เราจะทำการทดลองแบบ 3^k เพียง 1 เรพลีเคตเท่านั้น และนำอันตรกิริยาขึ้นสูงมารวมกันเพื่อให้ได้ค่าประมาณของ ค่าความผิดพลาด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ถ้าอันตรกิริยาแบบ 3 ปัจจัยหรือมากกว่าสามารถละเอียดได้ ดังนั้นการออกแบบ 3^3 ที่มี 1 เรพลีเคตจะให้ค่าระดับขั้นความเสรีสำหรับความผิดพลาดเท่ากับ 8 และสำหรับการออกแบบ 3^4 ที่มี 1 เรพลีเคตจะให้ค่าระดับขั้นความเสรี

สำหรับความผิดพลาดเท่ากับ 48 ซึ่งการออกแบบเช่นนี้ยังคงใหญ่เกินไปสำหรับปัจจัย $k \geq 3$ ดังนั้น ไม่ค่อยมีประโยชน์เท่าใดนัก

2.7 โปรแกรม Minitab

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



รูปที่ 2-11 ตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab

ที่มา : Solution Centerminitab.com

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

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมามีรูปแบบการให้ความร้อนเพื่อ ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่าระดับ ชุ่มชม ตามมาตรฐาน ยีสและราต้องน้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อ 1 ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ในงานวิจัยของ ปรีชาต และสุมาร (2549) ได้ใช้กระบวนการความร้อนเพื่อลดเชื้อ 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 ดังนั้นจึงสามารถนำความรู้จากการทบทวนวรรณกรรมไปต่อยอดประยุกต์กับงานวิจัยชิ้นนี้ ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของนายวิทธิชัย เชนทร (2549) ได้ศึกษาการทำงานของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ โดยพาความร้อนให้แก่ผลิตภัณฑ์ โดยใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการพาความร้อนผ่านแผงรับแสงรังสีสุริยะแบบราบเรียบขนาดพื้นที่ ตารางเมตร วางทำมุม 9 องศา ซึ่งทำให้การอัตราการไหลของอากาศร้อนเท่ากับ 0.84 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่หมุนเวียนในตู้อบเฉลี่ย 50-60 องศา ซึ่งจากการทดสอบการทำงานพบว่าสามารถลดน้ำหนักของ

ผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการตากแห้งแบบปกติเกือบ 3 เท่า ต่อมาในปี 2553 ในงานวิจัยของ อิศรพงษ์ (2553) ผู้วิจัยได้ศึกษากิจกรรมการวิหอบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง เพื่อแปรรูปไปใช้เป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหาร ระยะเวลาการอบแห้ง ปริมาณ citronellal ค่าสี และค่าวอเตอร์แอกติวิตี ของใบมะกรูดอบแห้ง โดยใช้ตู้อบแสงอาทิตย์แบบพาอากาศรื้อยเข้าสู่ห้องอบ ตู้อบลมร้อนแบบถาด และตู้อบไมโครเวฟสูญญากาศ จากผลการทดลองพบว่าใบมะกรูดที่มีความร้อนเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 177.13 จะแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราความร้อนกับความชื้นในระยะเวลาการอบต่างๆ พบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลเมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้แบบจำลอง Lewis, Henderson and Pabis และ Page เพื่อทำนายจลนศาสตร์ของการอบแห้งใบมะกรูด จึงพบว่า เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสได้ดีที่สุด มีการพัฒนาตู้อบเพื่อสังเกตการไหลเวียนของความร้อนและนำมาใช้เป็นการสอนในวิชาฟิสิกส์ โดยเป็นงานวิจัยของ จุฑาภา ผู้วิจัยได้พัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อการเรียนรู้เรื่องการไหลของความร้อนในวิชาฟิสิกส์ โคนใช้การเก็บความร้อนด้วยก้อนกรวด จากนั้นใช้การพาความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยหลักการแบร์นูลลี จากผลการทดลองพบว่า ตู้อบแห้งสามารถลดน้ำหนักปลาสดได้ร้อยละ 45.20 ภายในเวลา 5 ชั่วโมงซึ่งมากกว่าวิธีการตากแห้งตามธรรมชาติ รวมถึงสีของปลายังคงเหมือนเดิมมากกว่าวิธีการตากแห้งแบบธรรมชาติ

อีกหนึ่งตัวอย่างที่มีการพัฒนาเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ อีกหนึ่งงานวิจัยที่น่าสนใจ เช่นในงานของ สุพล (2555) ได้ศึกษาปัญหาขั้นตอนการผลิตของกล้วยตากว่าต้องอาศัย แสงอาทิตย์ โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของรังสีที่อาจทำให้อุณหภูมิ ทำให้กล้วยอาจจะแห้งไม่เท่ากัน ความถึงปัญหาจากความชื้นในอากาศ การปนเปื้อนจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรก และการรบกวนของแมลง นก หนูที่อาจนำพาโรคติดต่อสู่ผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงได้พัฒนา เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาอากาศไหลเวียนตามธรรมชาติ โดยอาศัยการสะสมความร้อนจากวัสดุสะสมความร้อนด้านล่าง สักได้ทดสอบกับอุณหภูมิ 3 ชนิด คือ ทราย จีฟี่และเกลือ พบว่าทรายสามารถเก็บความร้อนได้ดีกว่า การใช้เกลือหรือจีฟี่ โดยสามารถใช้เวลา 32 ชั่วโมงในการลดความชื้นของกล้วยจาก 68.92% xb. ถึง 30% wb. ในเวียง อากรชิ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบชั้นวางร่วมกับโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ร่วมกับการใช้โรงอบแห้งโดยใช้หลักการสะสมพลังงาน แบบสภาวะเรือนกระจก โดยใช้ทดสอบกับพริกชี้หนูสดจำนวน 100 กิโลกรัมที่มีความชื้นเริ่มต้นเริ่มที่ร้อยละ 60 ซึ่งต้องการลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 14 โดยเปรียบเทียบการอบแห้ง 3 รูปแบบ คือ การใช้เครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางเพียงอย่างเดียว ใช้แก๊สหุงต้มในการอบ และสุดท้าย

ใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่า เครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางโดยใช้แก๊สได้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสต้องใช้เวลา 16 ชั่วโมงโดยใช้แก๊ส 16 กิโลกรัมในการอบ ส่วนโรงตากพลังงานงานแสงอาทิตย์ต้องใช้เวลากว่า 4-5 วัน และ ถ้าหากใช้ตู้อบลมร้อนแบบชั้นวางอุณหภูมิ 60 องศา 8 ชั่วโมง และต่อด้วยโรงตากพลังงานแสงอาทิตย์ 1-2 วันพบว่าสามารถประหยัดแก๊สได้ถึงร้อยละ 50 แต่พริกที่ได้จะสีสวยกว่า มีนักวิจัยที่สร้างระบบการอบแห้งด้วยวัสดุเหลือใช้ ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ นิทัศน์ (2556) คณะผู้วิจัยได้ออกแบบตู้อบลมพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุที่ใช้แล้วและหาง่ายแบบกระป๋องเครื่องดื่ม โดยใช้เป็นส่วนประกอบแทนท่อทำความร้อน จากแผงรับรังสีที่มีพื้นที่รับรังสีเท่ากับ 0.66 ตารางเมตร โดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกระป๋องเครื่องดื่ม 2 ขนาดคือ 50 มม. และ 65 มม. จากการทดสอบพบว่าแผงรับรังสีที่ใช้กระป๋องขนาด 50 มม. ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนดีกว่า 65 มม. จากนั้นนำหมู และพริกขี้หนูมาอบแห้ง จากนั้นนำอุณหภูมิและความชื้นแสงมาคำนวณ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของตู้อบ ซึ่งพบว่ามีความชื้นแสงที่ 727.7 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 360.7 วัตต์ ซึ่งสามารถลดน้ำหนักหมูสามชั้นจาก 3 กิโลกรัมจนถึง 2.3 กิโลกรัม ภายใน 8 ชั่วโมง มีการใช้ไอน้ำมาช่วยในการให้ความร้อนในการอบแห้งให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในงานวิจัยของ ถาวร (2549) ได้พัฒนาตู้อบลมพลังงานความร้อนจากไอน้ำ โดยการพาความร้อนแบบอิสระ และการพาความร้อนแบบบังคับ จากแหล่งกำเนิดความร้อนโดยใช้หม้อไอน้ำขนาดการผลิต 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพื่อนำมาใช้ศึกษาการอบกล้วยน้ำว้าและพริกชี้ฟ้า จากการทดลองพบว่า กล้วยน้ำว้าสภาวะอบแห้งที่เหมาะสมจะอยู่ที่แรงดันไอน้ำ 1 บาร์ โดยอุณหภูมิอยู่ที่ 70-75 องศาเซลเซียส โดยสามารถอบกล้วยได้ครั้งละ 26 กิโลกรัม ต่อครั้ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

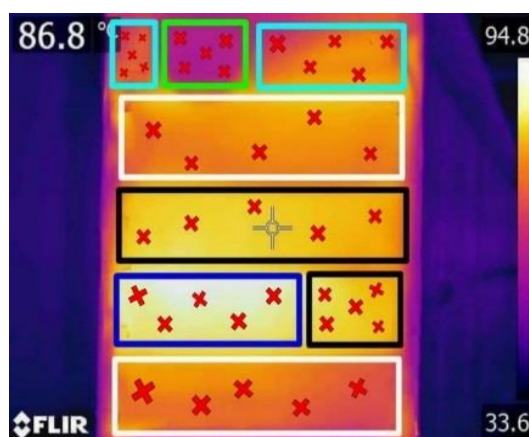
จากการได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อโอกาสการเกิดความร้อน และหาทางยับยั้งความร้อนภายในเนื้อมะขาม โดยมุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์มะขามคลุก ทั้ง 3 สายพันธุ์ประกอบด้วย พันธุ์สีชมพู พันธุ์ขันดีและสีทอง ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ระยะ ระยะแรกใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดโอกาสการเกิดความร้อนของมะขามโดยใช้ตู้อบลมร้อนขนาดเล็ก ระยะที่ 2 เป็นการหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสม เพื่อสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงของเนื้อมะขามและความชื้นในเนื้อมะขาม และจากนั้นใช้วิธีการทดสอบค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water Activity) เพื่อตรวจสอบค่าความชื้นภายในเนื้อมะขามในระยะที่ 3

3.1 การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนและการกระจายความร้อนในตู้อบลมร้อนขนาดเล็ก

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนและการกระจายความร้อนภายในตู้อบลมร้อนมะขาม ผู้วิจัยได้สรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคือ แผ่นควบคุมทิศทางความร้อนในตู้อบลมร้อนขนาดเล็ก ดังนั้นจึงนำผลลัพธ์จากการทดลองจากงานวิจัยของ นริศรา และ ศักดิ์ชัย (2562) โดยคณะผู้วิจัยได้ แบ่งพื้นที่ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิ ถ้าหากความร้อนที่อุณหภูมิต่างกันอย่างน้อย 3 องศาเซลเซียสจะถือว่าเป็นพื้นที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องใช้กล้อง FLIRT620 สุ่มวัดอุณหภูมิแต่ละพื้นที่ความร้อนจำนวน 5 จุดในแต่ละพื้นที่ จากตัวอย่างในรูปที่ 3-1 มีพื้นที่ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 องศาเซลเซียสอยู่ทั้งหมด 8 พื้นที่ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 40 จุด เพื่อหาความร้อนเฉลี่ยทั่วทั้งตู้ โดยแต่ละการตั้งค่าจะหาค่าเฉลี่ย 3 ครั้ง เมื่อเวลาผ่านไป 5 10 และ 15 นาทีตามลำดับ

การออกแบบการทดลองผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล แบบสามระดับ 3^k เพื่อทดสอบปรับเปลี่ยนมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนเพื่อหาการกระจายความร้อนที่เหมาะสม โดยใช้การสังเกตความร้อนที่เปลี่ยนไปเมื่อปรับมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความ

ร้อนทั้ง 5 แผ่น ในแต่ละแผ่นจะทำการปรับค่าทั้งหมด 6 ค่า ได้แก่ 45° 60° 90° 315° 330° และ 270° ดังที่แสดงในตารางที่ 3-1 และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 3-1 การแบ่งพื้นความร้อนที่แตกต่างกันภายในตู้อบ
ที่มา : นริศรา และ ศักดิ์ชัย (2562)



รูปที่ 3-2 ตู้อบแบบลมร้อน
ที่มา : นริศรา และ ศักดิ์ชัย (2562)

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลการกำหนดมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อน

x_i / f_j	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
x_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}
x_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	r_{25}
x_3	r_{31}	r_{32}	r_{33}	r_{34}	r_{35}
x_4	r_{41}	r_{42}	r_{43}	r_{44}	r_{45}

x_n	r_{n1}	r_{n2}	r_{n3}	r_{n4}	r_{n5}

3.1.1 *หมายเหตุ การออกแบบการทดลองทั้ง 81 ครั้งอยู่ในภาคผนวก ก

3.1.2

3.1.3 กำหนดให้

x_i คือ ความแตกต่างในแต่ละการทดลองจำนวนทั้งหมด $i = 1, 2, 3, \dots, 81$

f_j คือ แผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อน โดยกำหนดให้ $j = 1, 2, 3, \dots, 5$

r_{ij} คือ มุมของการคุมทิศทางลมในการทดลองที่ i ในแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อน ที่ j

การหาความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบ ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 5 จุดในแต่ละบริเวณความร้อน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาค่าความร้อนและการกระจายความร้อน ซึ่งจากการทดลองในงานวิจัยของ นริศรา และ ศักดิ์ชัย (2562) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3-2 ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการหาปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อให้ความร้อนในตู้อบเพิ่มขึ้นและกระจายไปทั่วทั้งเตามากที่สุด ก่อนนำมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูชั้นดี และสีทอง ไปอบลดความชื้น เพื่อแก้ปัญหการกระจายความร้อนไม่ทั่วถึง ซึ่งเป็นสาเหตุการทำให้ความชื้นในเนื้อมะขามกลับมาและส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างผลลัพธ์การทดลองการเปรียบเทียบความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอุณหภูมิของตู้อบมะขามหวาน

ลำดับการทดลอง	5 นาที		10 นาที		15 นาที	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
1	32.98	1.34	41.23	2.23	42.97	2.82
2	33.03	1.44	36.97	2.92	37.78	2.11
3	32.65	1.26	37.06	1.74	40.13	2.06
4	35.06	1.39	39.85	1.89	43.93	2.11
5	32.58	1.23	36.51	1.84	41.75	2.45

77	36.79	1.41	38.79	2.67	43.49	3.65
78	33.88	1.56	39.24	2.87	44.53	2.36
79	33.40	1.43	40.14	3.00	44.38	2.95
80	34.41	1.86	36.50	3.88	38.78	2.92
81	32.58	2.11	37.03	2.01	40.98	2.90

ที่มา : ผลลัพธ์การทดลองการเปรียบเทียบความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นริศรา และ ศักดิ์ชัย (2562)

3.2 การหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการอบมะขาม

เมื่อได้พารามิเตอร์ในการตั้งค่าเตาอบที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบมะขาม โดยนำมะขาม 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ขันดี และสีทอง อบในตู้อบร้อน และบันทึกผลลัพธ์ ในการทดลองจะใช้มะขามจำนวน 30 ฟักในแต่ละสายพันธุ์ อบในตู้อบภายในบริเวณที่มีความร้อนใกล้เคียงกันมากที่สุด (ได้ผลลัพธ์จากการทดลองในระยะที่ 1) โดยจะตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 45 55 และ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ถ้าหากความร้อนมากกว่านี้ คุณสมบัติของเนื้อมะขามจะเปลี่ยนแปลง และภายในเวลาการทดลอง 3-6 ชั่วโมงจะทำให้เนื้อมะขามไหม้และไม่สามารถรับประทานได้ โดยการหาเวลาและความร้อนที่เหมาะสมจะใช้การตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Moisture Meter TK100S เพื่อตรวจสอบความชื้นในเนื้อ

มะขาม โดยตารางที่ 3-3 เป็นตัวอย่างตารางบันทึกผลลัพธ์ในการการอบมะขามสายพันธุ์ศรีชมภูใช้เวลาในการอบ 3-6 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างตารางผลลัพธ์การหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสายพันธุ์ศรีชมภู

ผักที่	เวลา ...3...ชั่วโมง อุณหภูมิ ...50...องศาเซลเซียส		
	ความชื้นก่อน (% ความชื้น)	ความชื้นหลัง (% ความชื้น)	ร้อยละความแตกต่างของความชื้น
1			
2			

30			

3.3 การทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้ (Water Activity) เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจตัดสินส่งออก

เมื่อทราบเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเอา ตัวอย่างของมะขาม ทั้งหมด 3 สายพันธุ์ที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุดจากผลลัพธ์การทดลองในระยะที่ 2 ไปตรวจสอบหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้เพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นก่อนอบและหลังอบ

ตารางที่ 3-4 ตารางเปรียบเทียบค่า วอเตอร์แอกทีวิตี้ ก่อนและหลังจากการอบได้ความชื้นของมะขาม 3 สายพันธุ์

ชื่อพันธุ์มะขาม	การอบได้ความชื้น	ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้				
		1	2	3	4	5 เกล็ด
ศรีชมภู	ผ่านการอบ					
	ไม่ผ่านการอบ					
ขันดี	ผ่านการอบ					
	ไม่ผ่านการอบ					
สีทอง	ผ่านการอบ					
	ไม่ผ่านการอบ					

จากนั้นนำไปเป็นข้อมูลในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้ขั้นตอนการอบไล่ความชื้นในเนื้อมะขามมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยในการวัดค่าอุณหภูมิแอมป์ที่ดี จากการสุ่มตรวจมะขาม 5 ผัก เพื่อเปรียบเทียบและบันทึกผลลัพธ์ลงในตาราง 3-4 จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาอภิปรายและสรุปผลการทดลอง เพื่อหาแนวทางการต่อยอดในการพัฒนากระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และหาข้อสรุปเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการอบไล่ความชื้นเพื่อยืดอายุระยะเวลาเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังจากการอบแห้งและบรรจุสินค้า

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองทั้งหมดทั้ง 3 ระยะ ประกอบด้วย การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนและการกระจายความร้อนที่เหมาะสมในตู้อบลมร้อนขนาดเล็ก การหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการอบมะขาม และการทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity) เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจ ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์และการอภิปรายผลลัพธ์จากการทดลองได้ดังต่อไปนี้

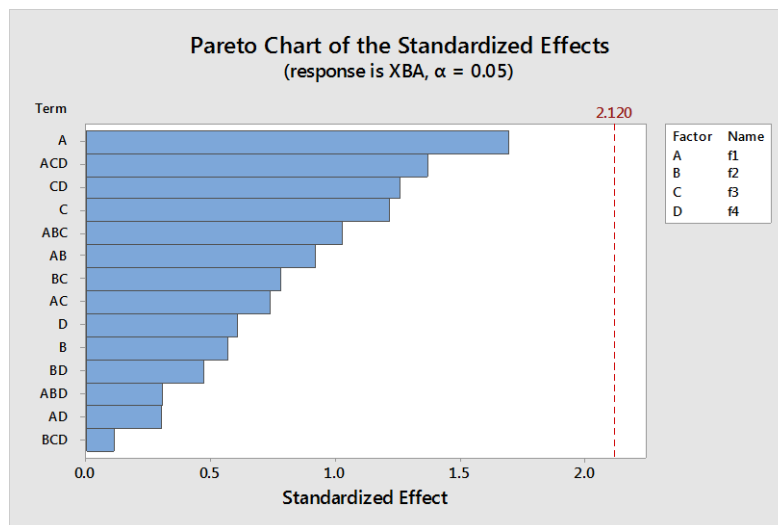
4.1 การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดโอกาสการเกิดความชื้นของมะขามโดยใช้ตู้อบลมร้อนขนาดเล็ก

การหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความร้อนและการกระจายความร้อนที่เหมาะสม ใช้การสุ่มวัดความร้อนทั่วตู้อบ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนใน 3 ช่วงเวลาประกอบด้วย 5 10 และ 15 นาทีตามลำดับ และใช้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยและการกระจายความร้อนที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % หรือมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

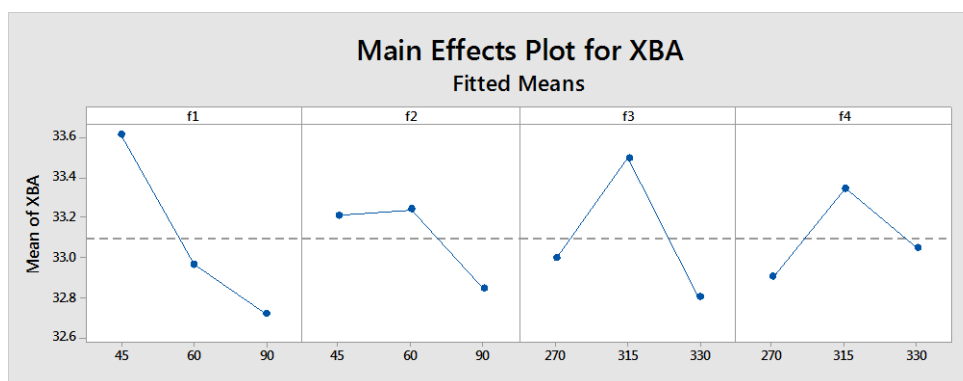
4.1.1 ผลลัพธ์การทดสอบตู้อบลมร้อนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที

4.1.1.1 ค่าความร้อนเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยการปรับค่ามุมของแผ่นสเตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 1 และ 3 มีผลมากที่สุด แต่ก็ยังไม่มากพอที่จะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.108 และ 0.204 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม การปฏิสัมพันธ์ของ 3 ตัวแปรพร้อม (3 Way Interaction) ที่ให้ทำให้ค่าความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น คือปัจจัยร่วมระหว่างแผ่นสเตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 1 3 และ 4 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.190 และ การปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร คือ แผ่นที่ 3 และ 4 ที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.225



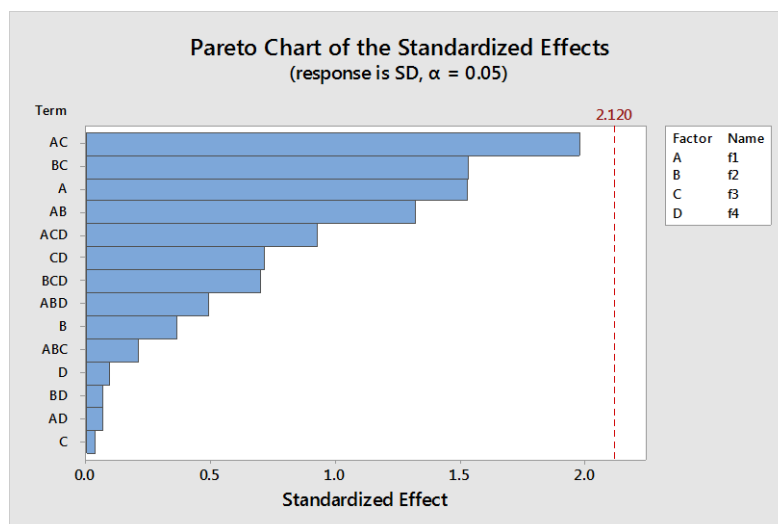
รูปที่ 4-1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที



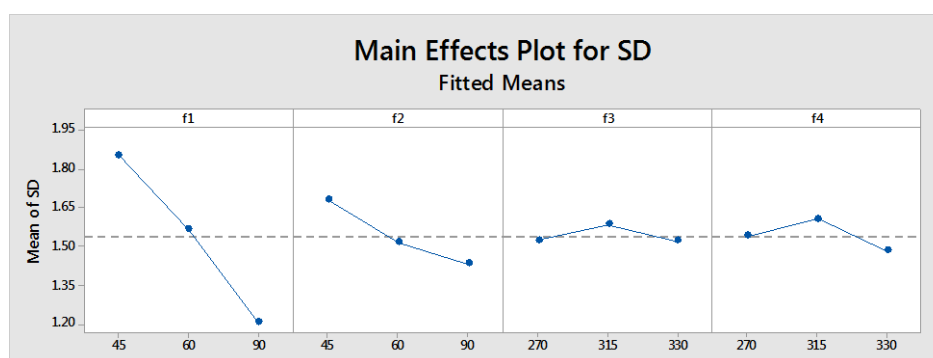
รูปที่ 4-2 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที

4.1.1.2 การกระจายความร้อน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อเปลี่ยนแปลงการกระจายความร้อนภายในตู้อบที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 1 มีแนวโน้มที่ดีต่อการเปลี่ยนแปลงการกระจายความร้อนภายในตู้อบมากที่สุด โดยมีค่า P-Value ของ เท่ากับ 0.146 แต่อย่างไรก็ตาม การปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ที่ให้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงต่อการกระจายความร้อนได้มากที่สุด คือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 2 และ 3 มีค่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.145



รูปที่ 4-3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบ เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที



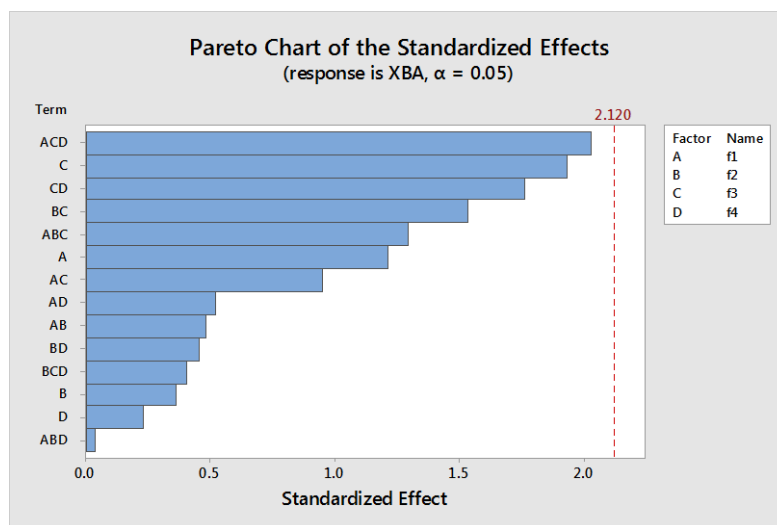
รูปที่ 4-4 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที

4.1.2 ผลลัพธ์การทดสอบตู้อบลมร้อนเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

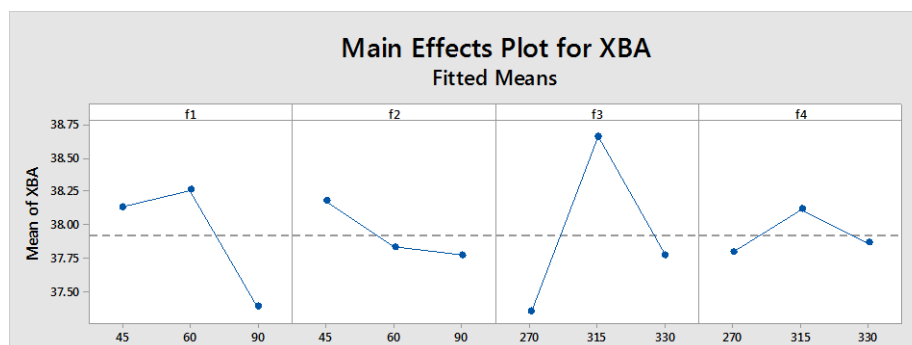
4.1.2.1 ค่าความร้อนเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 3 มีผลมากที่สุด แต่ก็ยังไม่มากพอ ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน แต่มีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อเทียบกับ 5 นาที โดยมีค่า P-Value ของ เท่ากับ 0.071 แต่อย่างไรก็ตาม การปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปร ที่ทำ

ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น คือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 1 3 และ 4 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.059 ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกับค่า 0.05 มาก



รูปที่ 4-5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

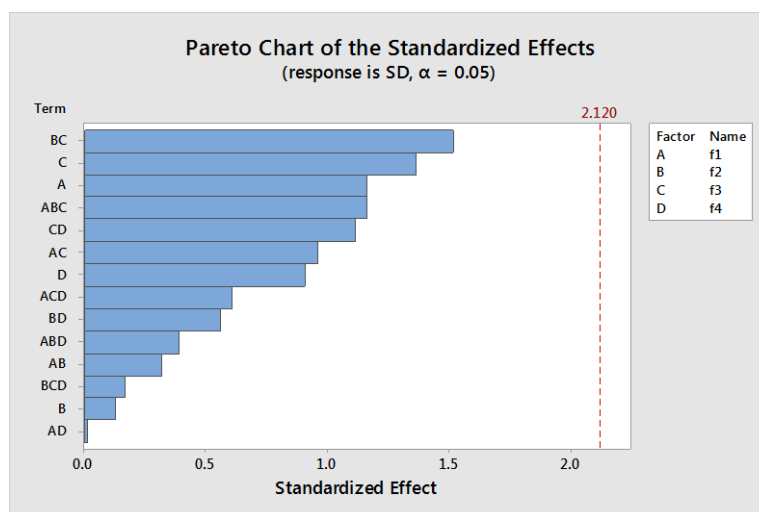


รูปที่ 4-6 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

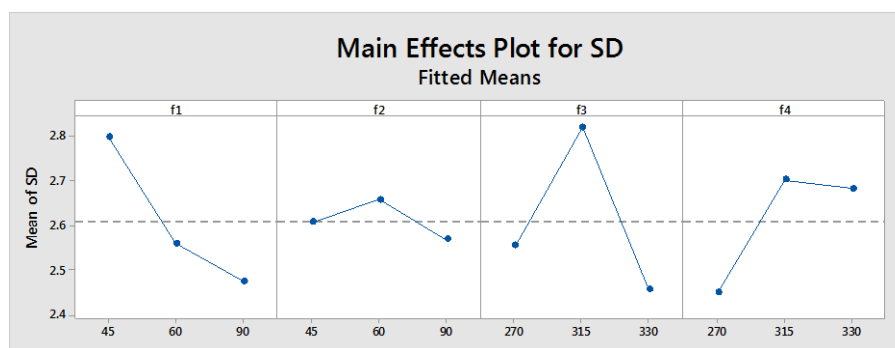
4.1.2.2 การกระจายความร้อน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจายความร้อนภายในตู้อบที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % และถือว่ายังห่างไกลจากค่า 0.05 มากโดยแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 1 มีผลต่อการกระจายความร้อนมากที่สุด ที่

มีแนวโน้มที่ดีกว่าตัวแปรอื่น โดยมีค่า P-Value ของ เท่ากับ 0.191 แต่อย่างไรก็ตาม การปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ที่ให้ทำให้มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงการกระจายความร้อนมากที่สุดคือ คือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 2 และ 3 มีค่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.148



รูปที่ 4-7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที



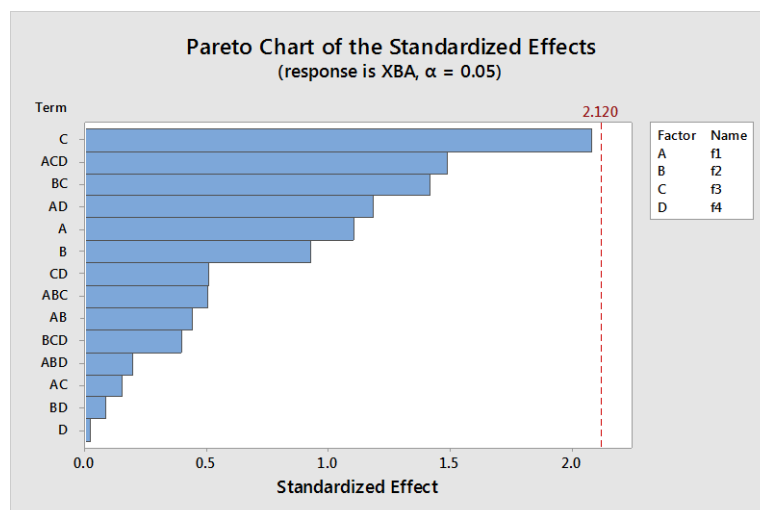
รูปที่ 4-8 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

4.1.3 ผลลัพธ์การรอบได้ความชื้นเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

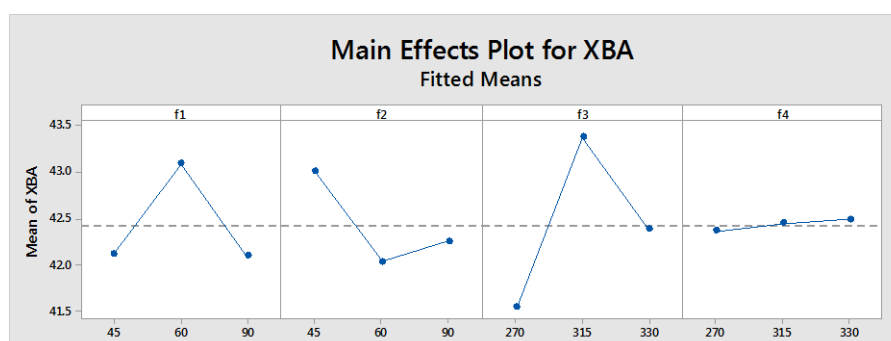
4.1.3.1 ค่าความร้อนเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 3 มีผล

มากที่สุด แต่ก็ยังไม่มากพอ ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน แต่มีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อเทียบกับ 5 และ 10 นาที โดยมีค่า P-Value ของ เท่ากับ 0.053 ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกับค่า 0.05 มาก แต่ไม่มีปัจจัยร่วมใดที่มีแนวโน้มที่ดีกว่าค่าของการปรับเปลี่ยนมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อน แผ่นที่ 3



รูปที่ 4-9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที

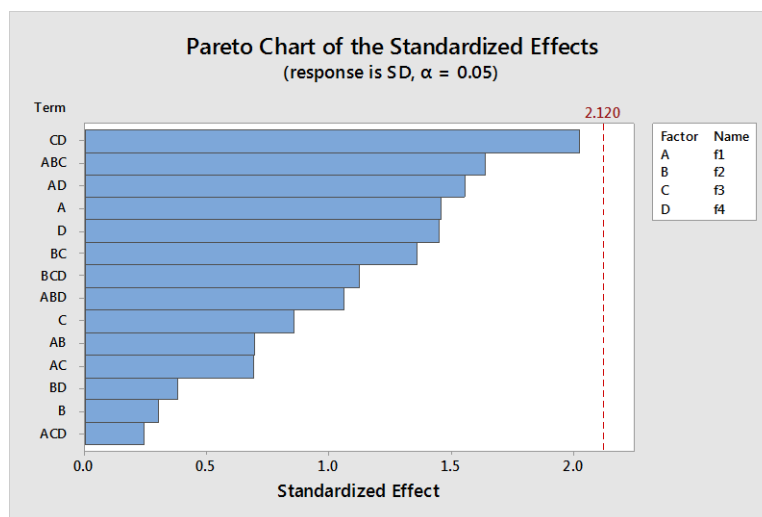


รูปที่ 4-10 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที

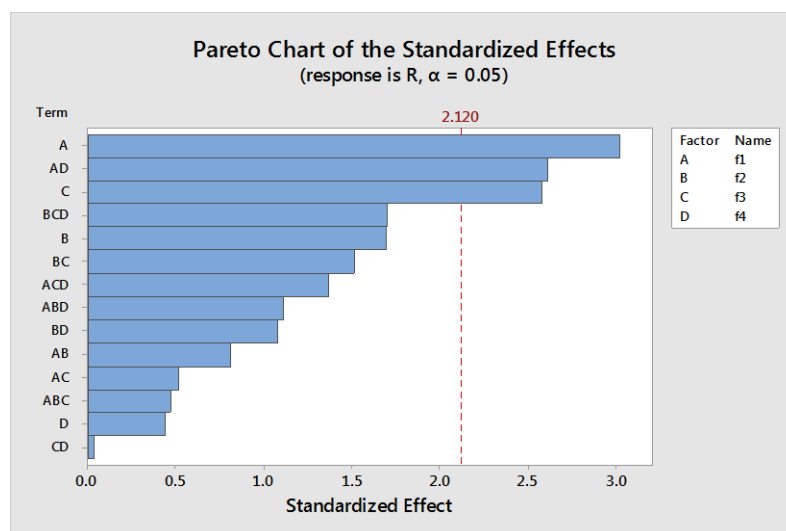
4.1.3.2 การกระจายความร้อน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจายความร้อนภายในตู้อบที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % ตัวแปรที่มีแนวโน้มที่ดีกว่าตัว

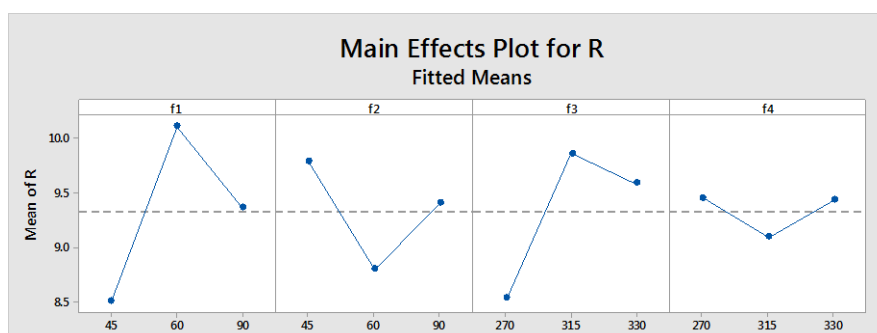
แปรอื่นคือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 3 และ 4 มีค่าค่า P-Value เท่ากับ 0.60 ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกับค่า 0.05 มาก แต่ไม่มีปัจจัยหลักไหนเลยที่มีค่าใกล้เคียงกับค่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่มีการแสดงกราฟ ปัจจัยหลักต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที



รูปที่ 4-11 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อนภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

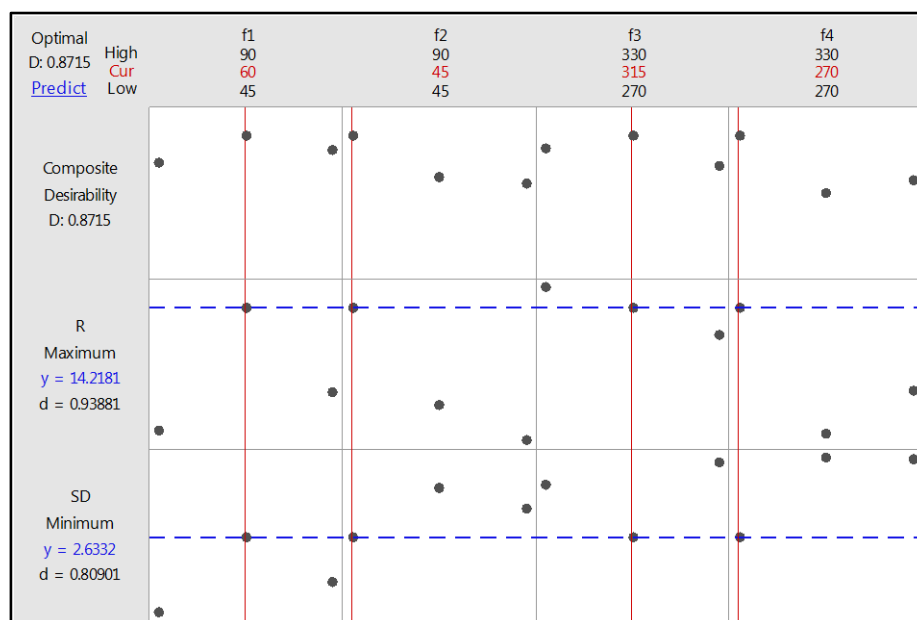


รูปที่ 4-12 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไป 5 จนถึง 15 นาที



รูปที่ 4-13 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไป 5 จนถึง 15 นาที

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปการเพิ่มขึ้นของความร้อนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการทดลองและสังเกตการเพิ่มขึ้นของความร้อนเฉลี่ยของตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป จาก 5 นาที ถึง 15 นาที เพื่อให้ทราบว่าการตั้งค่าแบบใดที่สามารถทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นได้เร็วที่สุด เมื่อเวลาผ่านไป โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ 5 และ 15



รูปที่ 4-14 Optimazation Plot

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยจาก 5 นาที จนถึง 15 นาทีที่ความเชื่อมั่นที่ 95 % ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน คือ แผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 1 และ 3 โดยมีค่า P-Value ของ เท่ากับ 0.008 และ 0.020 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม การปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ที่ทำให้ค่าความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น อย่างชัดเจนเช่นกัน คือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนแผ่นที่ 1 และ 4 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.019 ซึ่งถือว่ามี การเปลี่ยนแปลงมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไปตั้งแต่ 5 จนถึง 15 นาที ถ้าหากต้องการ หาค่าที่ดีที่สุดหาจุดสมดุลเพื่อให้ได้การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่สูงที่สุดภายใน 10 นาที ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 14 องศาเซลเซียส หรือร้อยละ 93 จากค่าสูงสุด และมีค่าการกระจายความร้อนอยู่ที่ประมาณ 2.633 หรือร้อยละ 80 จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุด ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องปรับมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนในคู่อับดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 หาค่าที่ดีที่สุดหาจุดสมดุลเพื่อให้ได้การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยที่สูงที่สุดและการกระจายความร้อนในคู่อับที่ดีที่สุด

การปรับมุมของแผ่นสแตนเลสควบคุมทิศทางความร้อน (องศา)				
1	2	3	4	5
60	45	90	315	270

ซึ่งจะสามารถให้มีการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 11.13-17.31 องศาเซลเซียส และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าการกระจายความร้อนอยู่ระหว่าง 1.816-3.450 โดยอ้างอิงจาก ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval)

4.2 การหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการอบมะขาม

เมื่อได้พารามิเตอร์ในการตั้งค่าเตาอบที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบ โดยนำมะขาม 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู จันดี และสีทอง อบในตู้อบลมร้อน และบันทึกผลลัพธ์ ในการทดลองจะใช้วิธีการมะขาม 3 สายพันธุ์ จำนวน 30 ผล ในตู้อบภายในบริเวณที่มีความร้อนใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยจะตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 45 55 และ 65

องศาเซลเซียส โดยผลลัพธ์จะแสดงตารางสรุป ค่าความชื้นสูงสุด ต่ำสุดและความชื้นเฉลี่ย ความชื้นก่อนและหลังจากการอบ

4.2.1 ร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังที่เวลา 4 ชั่วโมง

จากการทดลอง ในการอบที่อุณหภูมิ 45 55 และ 65 ใน ช่วงเวลา 4 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าการวัดค่า % ความชื้นจากเครื่อง Moisture Meter TK100S ดังที่แสดงในตารางที่ 4-2 ถึง 4-4 พบว่ามะขามมีค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 10-20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และสีของมะขามยังเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง โดยค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ มะขามพันธุ์อินทผลัม และพันธุ์สีทอง โดย ความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 19.94 และ 19.18 ตามลำดับ และจากการกีดเพื่อตรวจสอบพบว่าด้านในมะขามยังมีความชื้นสะสมอยู่ ถึงอาจเป็นสาเหตุของการเกิดความชื้นขึ้นอีก



รูปที่ 4-15 เครื่องวัด % ความชื้น Moisture Meter TK00S



รูปที่ 4-16 เครื่องวัด % ความชื้น Moisture Meter TK00S

ตาราง 4-2 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 45 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ย
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	17	13	14	11	15.90
อินทผลัม	16	14	15	13	7.67
สีทอง	16	13	14	12	12.29

ตาราง 4-3 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 55 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้น
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	16	13	13	12	12.61
อินทผลัม	17	13	14	12	13.40
สีทอง	16	13	13	11	13.89

ตาราง 4-4 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 65 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้น
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	17	13	14	10	16.27
อินทผลัม	17	13	13	10	19.94
สีทอง	16	14	13	10	19.18

4.2.2 ร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังที่เวลา 5 ชั่วโมง

จากการทดลองอบไล่ความชื้นในช่วงเวลา 5 ชั่วโมง ดังที่แสดงในตารางที่ 4-5 ถึง 4-7 พบว่าภายในเนื้อมะขามมีค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 23-27 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นถ้าเทียบกับ การอบที่ 5 ชั่วโมง และสีของมะขามมีลักษณะเข้มขึ้นจากเดิม โดยค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ มะขามพันธุ์อินทผลัม และพันธุ์สีทอง เช่นเดิม ซึ่งความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 26.06 และ 26.95 ตามลำดับ และจากการกริดเพื่อตรวจสอบพบว่าด้านในมะขามยังมีความชื้นสะสมอยู่บางฝักเท่านั้น



รูปที่ 4-17 การวัดค่าความชื้นก่อนและหลังการอบมะขาม

ตาราง 4-5 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 45 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่าง ของความชื้นเฉลี่ย
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	16	13	12	10	23.19
อินทผลัม	18	13	13	10	26.06
สีทอง	18	12	13	9	26.95

ตาราง 4-6 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 55 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้น
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	15	12	12	8	30.94
อินทผลัม	17	12	13	8	28.24
สีทอง	16	11	12	8	32.45

ตาราง 4-7 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 65 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้น
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	17	14	10	7	41.86
อินทผลัม	15	13	9	6	45.02
สีทอง	16	12	10	8	34.36

4.2.3 ร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังที่เวลา 5 ชั่วโมง

จากการทดลองอบได้ความชื้นในช่วงเวลา 6 ชั่วโมง ดังที่แสดงในตารางที่ 4-8 ถึง 4-10 พบว่ามะขามมีค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 40-50 ซึ่งมากที่สุดเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิที่สูงมาก และสีของมะขามมีลักษณะเข้มขึ้นจากเดิมจนเห็นได้ชัด จนเริ่มมีกลิ่นไหม้ โดยค่าร้อยละความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ มะขามพันธุ์ ศรีชมภู และอินทผลัม ซึ่งความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 52.44 และ 51.91 ตามลำดับ และจากการกริดเพื่อตรวจสอบพบว่าด้านในมะขามไม่มีความชื้นสะสม แต่เนื้อมะขามที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียสไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตาราง 4-8 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 45 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ย
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	16	13	9	7	41.76
อินทผลัม	17	13	10	8	39.32
สีทอง	15	12	9	7	41.74

ตาราง 4-9 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 55 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้น
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	15	12	9	7	44.09
อินทผลัม	16	14	10	9	45.56
สีทอง	15	13	9	6	48.80

ตาราง 4-10 ตารางสรุปผลร้อยละความแตกต่างของความชื้นของมะขามก่อนอบและหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 65 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

พันธุ์มะขาม	ความชื้นก่อนอบ		ความชื้นหลัง		ร้อยละความแตกต่างของความชื้น
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	
ศรีชมภู	15	12	9	6	52.44
อินทผลัม	17	14	9	5	51.91
สีทอง	15	14	8	6	51.16

จากผลลัพธ์การทดลองพบว่า จะอยู่ที่ อุณหภูมิ 55 และ 45 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่ด้วยเงื่อนไขของมะขามในด้าน รสชาติ และเวลาการอบที่มีอยู่จำกัด ควรเลือกอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมงเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการผลิต โดยสามารถลดความชื้นลงประมาณร้อยละ 30 ซึ่งไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติดั้งเดิมของเนื้อมะขามในทุกๆ สายพันธุ์



รูปที่ 4-18 ตัวอย่างมะขามหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

4.3 การทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี (Water Activity) เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจส่งออก

เมื่อทราบเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเอา ตัวอย่างของมะขาม ทั้งหมด 3 สายพันธุ์ที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุดแต่ยังคงคุณสมบัติที่ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในระยะที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิในการอบเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง ไปตรวจสอบหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี โดยสุ่มจากมะขาม 5 ฝักจากมะขามในแต่ละสายพันธุ์ เพื่อตรวจสอบหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตีอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ รวมถึงเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ความชื้นกลับมา

ตารางที่ 4-11 ตารางเปรียบเทียบค่า วอเตอร์แอกทีวิตี ก่อนและหลังจากการอบไล่ความชื้นของมะขาม 3 สายพันธุ์

ชื่อพันธุ์มะขาม	การอบไล่ความชื้น	ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
ศรีชมภู	ผ่านการอบ	0.73	0.65	0.71	0.73	0.68	0.70
	ไม่ผ่านการอบ	0.85	0.89	0.85	0.92	0.92	0.89

ชื่อพันธุ์มะขาม	การรอบไล่ความชื้น	ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
อินทผลัม	ผ่านการอบ	0.71	0.75	0.7	0.72	0.68	0.71
	ไม่ผ่านการอบ	0.96	0.89	0.93	0.85	0.85	0.90
สีทอง	ผ่านการอบ	0.66	0.69	0.72	0.67	0.73	0.69
	ไม่ผ่านการอบ	0.93	0.85	0.88	0.87	0.95	0.90

จากผลการทดสอบพบว่า มะขามที่ผ่านการอบแล้วมีค่า วอเตอร์แอกทีวิตี้ อยู่ที่ประมาณ 0.6-0.7 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ ค่าจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย แบคทีเรียก่อโรค ยีสและราหลายชนิดไม่สามารถเติบโตได้ Newport Scientific,1995

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุความชื้นที่เกิดขึ้นและยืดอายุระยะเวลาเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังจากการอบแห้งและบรรจุสินค้า เพื่อแก้ปัญหาความชื้นที่ทำให้คุณภาพ สี และรสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปส่งผลให้เวลาระยะเวลาการเก็บรักษาและเวลาขายสินค้าสั้นลง บางครั้งสินค้าถูกปฏิเสธและตีกลับสร้างความเสียหายให้แก่ผู้ประกอบการโดยมุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์มะขามคลุก ทั้ง 3 สายพันธุ์ประกอบด้วย พันธุ์สีชมพู ขันดีและสีทอง ซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดต่างประเทศ ในการดำเนินงานวิจัยจะประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดโอกาสการเกิดความชื้นของมะขาม เช่น ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการอบ เพื่อสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงของเนื้อมะขามเมื่อเวลาผ่านไป จากนั้นใช้วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (Water Activity) เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจตัดสินใจสินค้าในแต่ละรอบการขนส่ง

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ระยะแรกเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการกระจายความร้อนภายในตู้อบ โดยใช้ผลลัพธ์จากการทดลองจากงานวิจัยของ นริศรา และ ศักดิ์ชัย (2562) มาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยและการตั้งค่าที่จะสามารถใช้ตู้อบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนในระยะที่ 2 เป็นการหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสม เพื่อสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงของเนื้อมะขามและความชื้นในเนื้อมะขามเมื่อเวลาผ่านไป และจากนั้นใช้วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (Water Activity) เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจตัดสินใจสินค้าในแต่ละรอบการขนส่งในระยะที่ 3

ในหาค่าตั้งค่าตู้อบให้ได้ค่าความร้อนเฉลี่ยที่สูงที่สุด ภายใน 10 นาที ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 14 องศาเซลเซียส หรือร้อยละ 93 จากค่าสูงสุด และมีค่าการกระจายความร้อนอยู่ที่ประมาณ 2.633 หรือร้อยละ 80 จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุด ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องปรับมุมของแผ่นสเตนเลสควบคุมทิศทางความร้อนไปที่มุม 60° 45° 90° 315° และ 270° ส่วนผลลัพธ์จากการทดลองในระยะที่ 2 พบว่าผู้ปฏิบัติงานควรปรับค่าอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 ชั่วโมงเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการผลิต โดยสามารถลดความชื้นลงประมาณร้อยละ 30 ซึ่งไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติดั้งเดิมของเนื้อมะขามใน

ทุกๆ สายพันธุ์ และเมื่อนำมะขามที่ผ่านการอบไถ่ความชื้นไปทดสอบหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตี ในระยะที่ 3 พบว่ามะขามที่นำมาทดสอบมีค่าวอเตอร์แอกทีวิตีอยู่ในระดับ 0.6-0.7 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ ค่าจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย แบคทีเรียก่อโรค ยีสและราหลายชนิดไม่สามารถเติบโตได้ ซึ่งถ้าหากนำกระบวนการจากงานวิจัยชิ้นนี้ไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผู้ประกอบการจะสามารถลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากความเสียหายจากการที่สินค้าถูกปฏิเสธและตีกลับสร้างความเสียหาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ระยะเวลาการปล่อยความร้อนเพิ่มสูงขึ้นควรมากกว่า 20 นาทีเพื่อให้เห็นชัดเจนมากขึ้น เนื่องจาก 10 นาทีความร้อนอาจจะสูงขึ้นไม่ทันที่จะเกิดความเปลี่ยนแปลงที่สามารถเห็นได้ชัดเจน

5.2.2 เนื่องจากการทดลองเป็นการกระจายไม่ให้อุ่นมะขามทับซ้อนกัน แต่การทำงานจริงผู้ประกอบการใช้วิธีการอบโดยไม่สนใจว่ามะขามจะทับกันหรือไม่ ทำให้มะขามที่ไม่ถูกความร้อนอาจจะได้รับความร้อนไม่เพียงพอ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งหน้าควรทดลองการอบสภาพจริงเพื่อชี้ข้อเสียของกระบวนการอบแบบเดิม หรือหาเครื่องมือที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการอบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.2.3 ในการทดลองอาจมีบางตัวแปรที่ไม่ส่งผลต่อผลลัพธ์ที่พิจารณา ผู้ทำงานทดลองควรใช้วิธีคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้นก่อน เพื่อลดจำนวนครั้งและระยะเวลาการทดลอง รวมการลดการสิ้นเปลืองพลังงานและวัตถุดิบ

บรรณานุกรม

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

- ขวัญเรือน เมฆหมอก. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะนาวแปรรูปของกลุ่มสตรีสหกรณ์เครดิตยูเนียนท่าขาม
สามัคคีจำกัด อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ,ศิลปศาสตรบัณฑิต
มหาบัณฑิตสาขาการออกแบบบรรจุภัณฑ์ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร,2549
- ถาวร ราชรองเมือง.การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2549
- นางสาวปรีชาต สบาย และนางสาวสุมาร ราชศรี. การลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำตาลปี๊บและมะขามเปียก.
รายงานฉบับสมบูรณ์,งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
นครราชสีมา, 2549
- วรวิทย์ วรรณวิน. เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก. รายงานฉบับสมบูรณ์การวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากทุน
วิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลพระนคร.กรุงเทพฯ, 2550
- ขุนแผน ตุ่มทองคำ. การออกแบบบรรจุภัณฑ์ไถ่อย่างข้าวเบือ. รายงานฉบับสมบูรณ์,งานวิจัยได้รับทุน
สนับสนุนจากทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.เพชรบูรณ์, 2551
- อิสรพงษ์ พงษ์ศิริ .อายุการเก็บรักษาของใบมะกรูดที่อบแห้งโดยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้อบลมร้อน
แบบถาดและตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2553
- ณัฐพล ชัยทวิชานันท์. การตรวจสอบฝักรวมหวานเลี้ยวโดยวิธีการประมวลผลภาพ. รายงานการวิจัยที่
รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์, 2555
- จุฑาภา ช่วยสุข.การพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์เรื่อง ความร้อนของ
ไหล และพลังงานยังยืน.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี,2555
- สุพล แนวตัน.การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงาน
แสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี,2555

ประเสริฐ ถึงห้า และคณะ. **เครื่องปั้นเนื้อมะขามแก้ว**. สารนิพนธ์ปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์, 2556

ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์. **การศึกษาสมรรถนะของชุดถอดक्रमะขาม : กรณีศึกษามะขามหวานพันธุ์ประกายทอง**. รายงานการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์, 2556

ลัดดา โสภณรัตน์. **อิทธิพลของการออกแบบบรรจุภัณฑ์ต่อกระบวนการตัดสินใจของผู้บริโภค**. วิทยานิพนธ์นิเทศศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการโฆษณา คณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556

นิทัศน์ วัฒนธรรม. **การศึกษาสมรรถนะผู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบทอความร้อนจากกระป๋องเครื่องดื่มใช้แล้ว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556

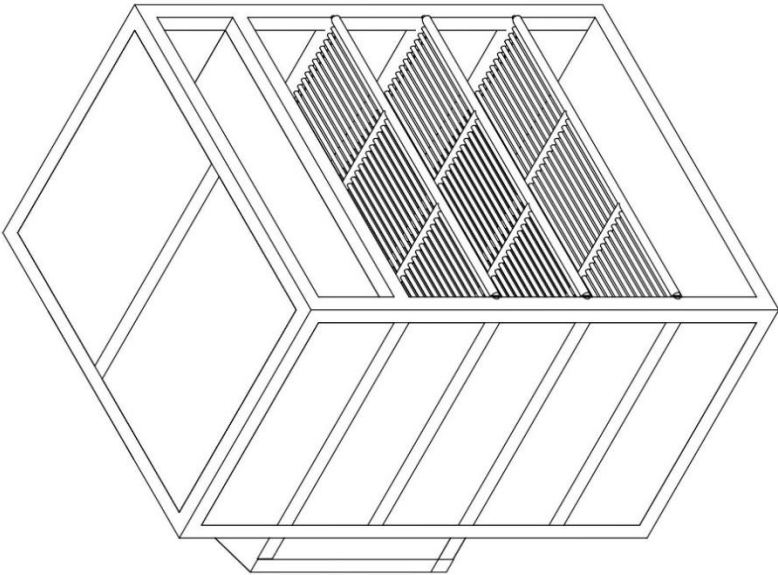
กาญจนา คุ่มม่วง. **ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเปรี้ยวเข้มข้นสำเร็จรูปของผู้บริโภคในเขตบึงกลุ่ม กรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร. กรุงเทพมหานคร, 2557

วิทยา หนูช่างสิงห์ และ ธนภัทร มะณีแสง, “**การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกะเทาะเปลือกมะขาม**,” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม สมุทรปราการ ประเทศไทย, 30-31 ตุลาคม, 2557

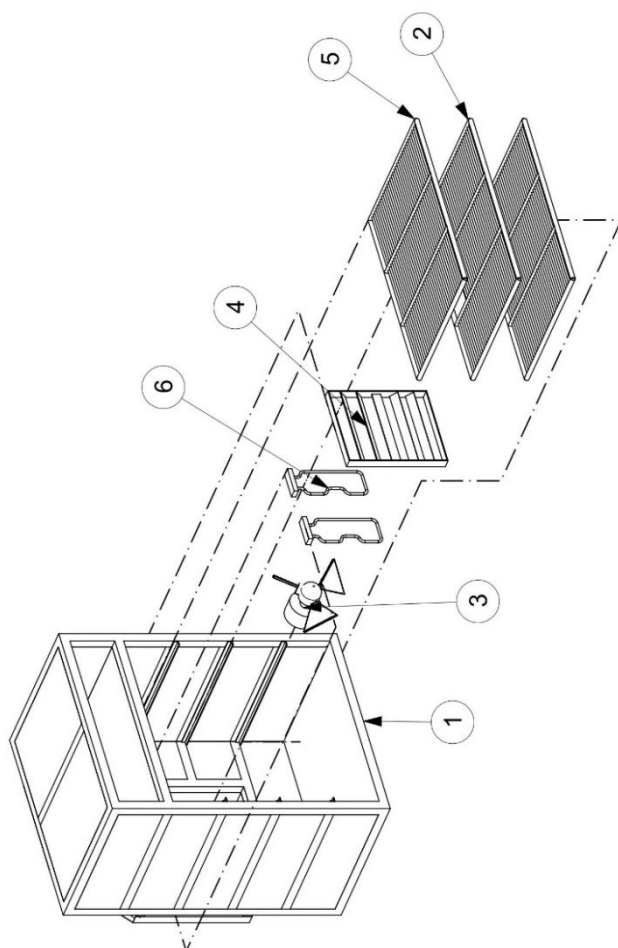
สถาบันมะขามหวาน [online] แหล่งเข้าถึง : <http://agritech.pcru.ac.th/new/page/tamarineinst.html> , คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ [26 ตุลาคม 2557.]

ภาคผนวก

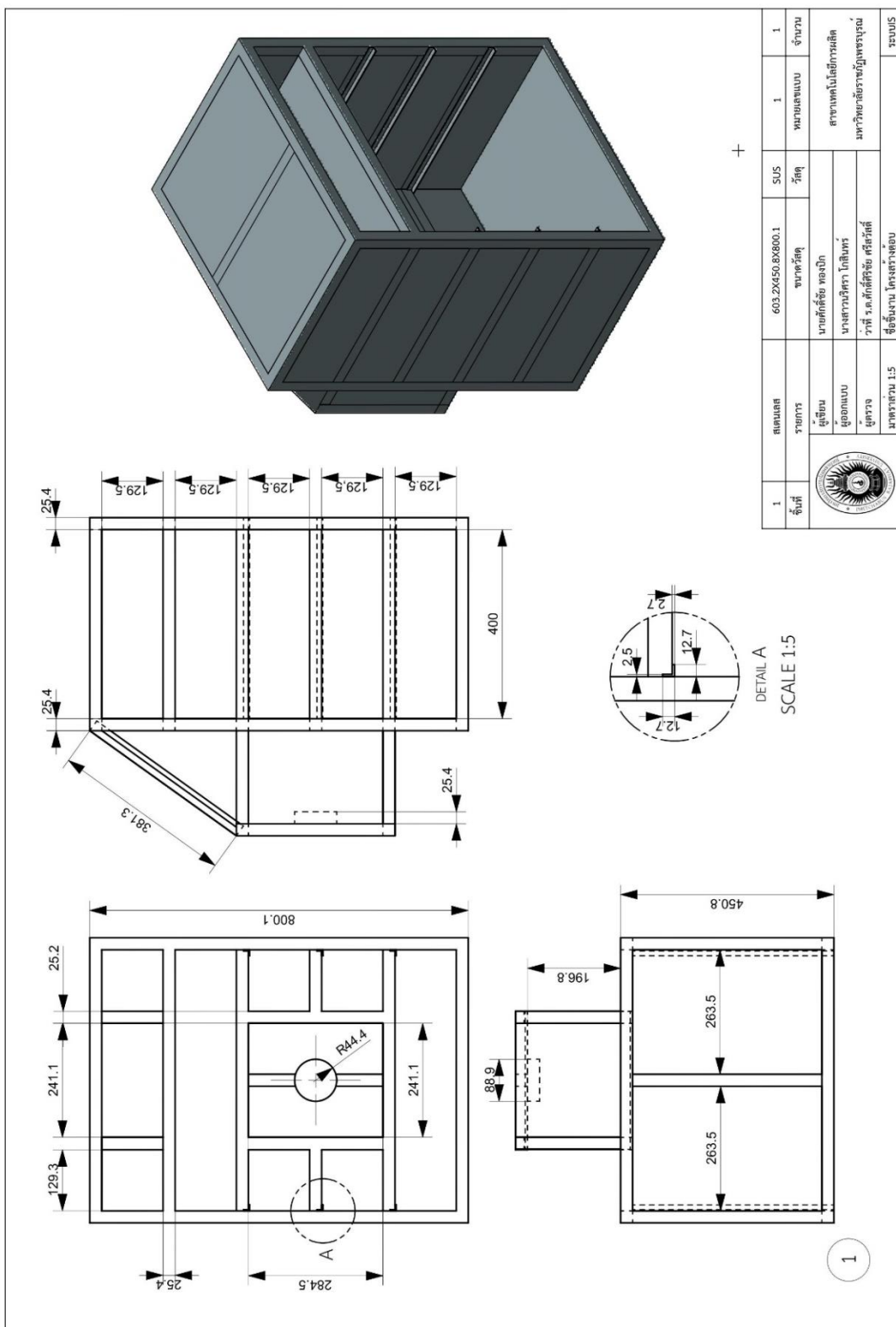
ภาคผนวก ก
แบบตู้อบมะขาม

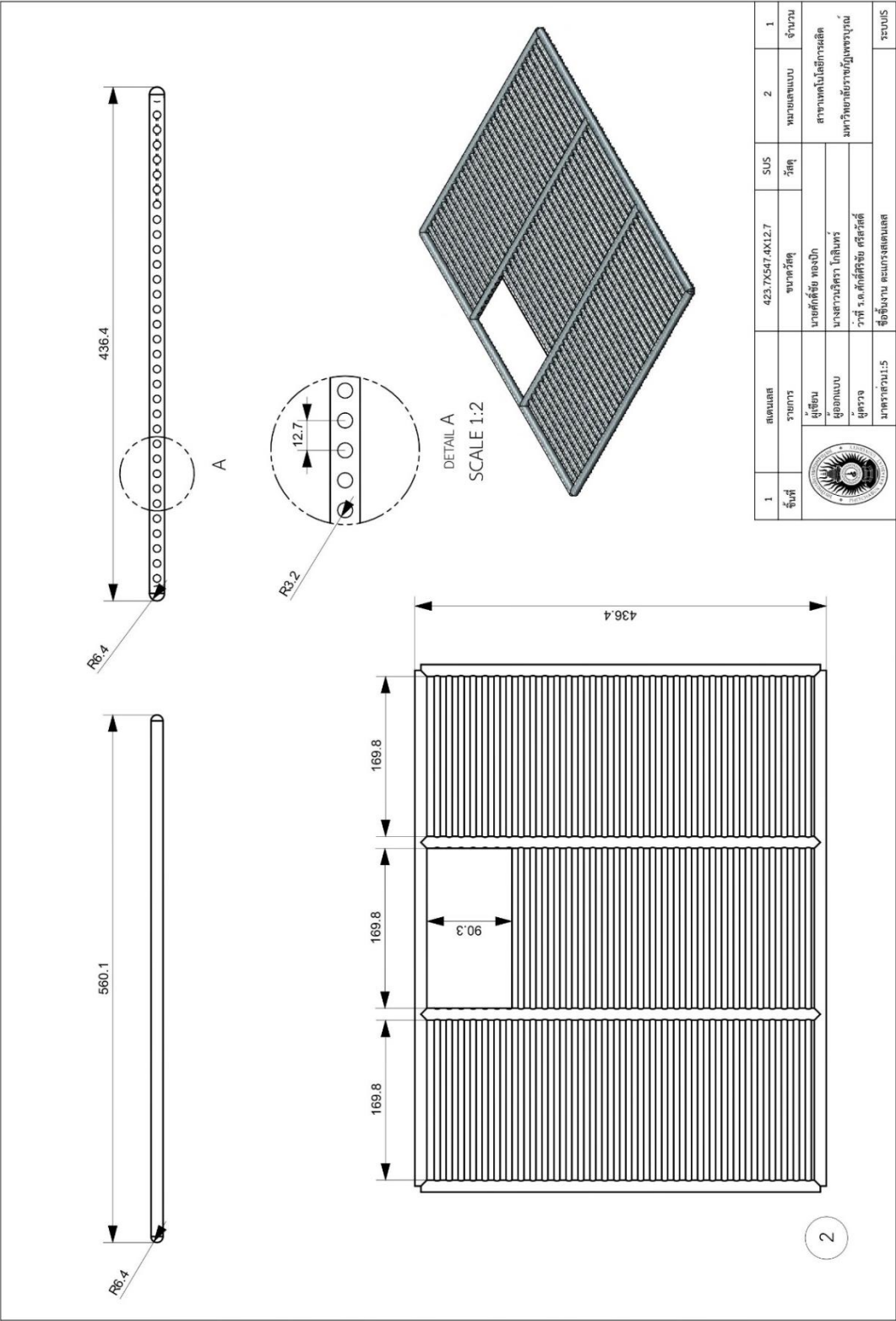


	ผู้เขียน	นายศักดิ์ชัย พงษ์ปิก	สาขาเทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	ผู้ออกแบบ	นางสาววิศิรา โกลิบุตร	
	ผู้ตรวจ	วาศี ร.ด.ศักดิ์ศรีชัย ศรีสวัสดิ์	
	มาตรา 1:5	ชื่อชิ้นงาน ตู้เก็บจานแบบหมุน	



6	ชดวลาโทฟ้า	-	-	-	-	2
5	คณกรสณเดส	423.7X547.4X12.7		SUS	4	2
4	ณนสณเดสณนบณทวณม	284.5X241.3X25.4		SUS	3	1
3	พทศณรณนทวท	-		SUS	-	1
2	คณกรสณเดส	423.7X547.4X12.7		SUS	2	1
1	โสรจณลอบ	603.2X450.8X800.1		SUS	1	1
ข้อที่	รายการ	ขนาด/วัสดุ	วัสดุ	เลขแบบ	จำนวน	
	ผู้เขียน	นายคณศย อดบณ				
	ผู้สอบ	นณสณบศท บณทกร				
	ผู้ตรวจ	วทศ.รศ.ทศทศย คศศศศ				
	ตรวจสอบ	ชอชณน				
	มตรวสณ 1:5	คณบรณบณบรณ				
		รณบรณ				

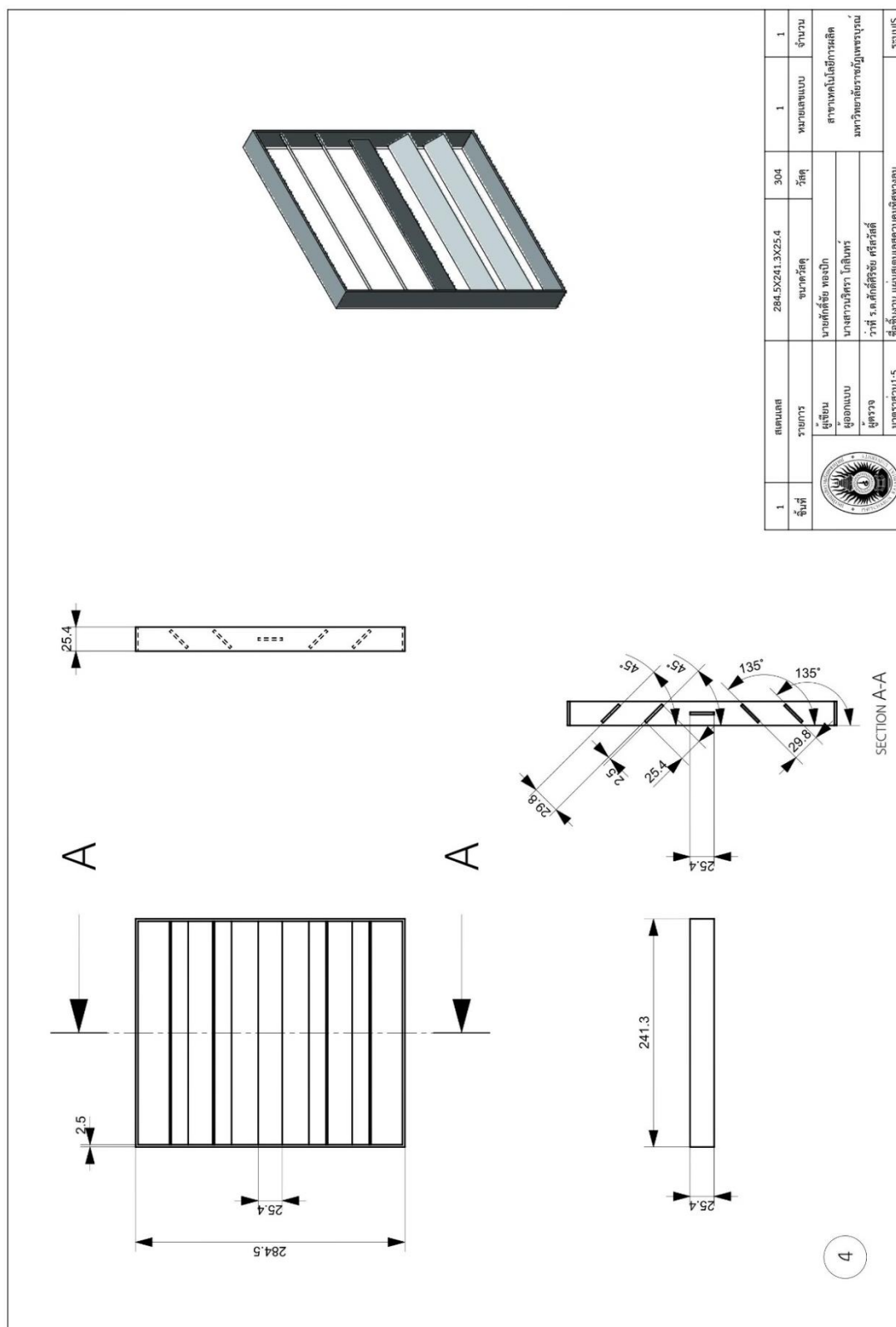




1	ชิ้นที่	สมบเลศ	423.7X547.4X12.7	SUS	2	1
	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ			จำนวน
	ผู้เขียน	นายศักดิ์ชัย ทองปึก				
	ผู้ออกแบบ	นางสาววิศรดา โกลิบุตร				
	ผู้ตรวจ	วาทย์ ว.ล.ศักดิ์ชัย ศัลยวิทย์				
	ขนาดรวม: 1:5	ชื่อชิ้นงาน	ตะแกรงผสมตะกอน			รวม: 5



สถานศึกษา
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



ภาคผนวก ข

ตารางสรุปค่าความร้อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งช่วง 3 เวลา

ตารางที่ ข-1 ความร้อนเฉลี่ยภายในตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที 10 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ

ลำดับการ ทดลอง	5 นาที		10 นาที		15 นาที	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
1	32.98	1.34	41.23	2.23	42.97	2.82
2	33.03	1.44	36.97	2.92	37.78	2.11
3	32.65	1.26	37.06	1.74	40.13	2.06
4	35.06	1.39	39.85	1.89	43.93	2.11
5	32.58	1.23	36.51	1.84	41.75	2.45
6	33.87	1.17	39.64	2.85	45.05	2.69
7	37.73	2.03	43.72	3.02	47.57	2.84
8	33.29	1.23	39.08	2.16	44.10	2.62
9	32.14	0.95	37.10	1.88	41.85	2.94
10	32.90	0.62	37.38	2.13	45.05	3.33
11	33.20	0.87	40.31	1.76	47.92	2.28
12	34.09	2.18	40.42	2.24	43.67	3.03
13	32.61	1.42	38.88	2.85	43.10	2.71
14	35.04	2.96	41.79	3.55	46.72	2.62
15	33.33	1.59	38.12	2.55	43.03	2.88
16	33.71	1.31	37.99	2.28	43.93	3.03
17	32.46	1.26	36.09	2.07	39.94	3.20
18	36.19	2.97	42.57	3.38	45.17	3.31
19	34.43	2.38	40.48	3.24	44.37	3.18
20	32.51	1.22	36.71	2.21	41.25	3.22
21	31.72	0.66	35.78	2.94	39.51	3.29
22	32.72	1.70	40.24	3.62	44.09	3.74
23	31.19	8.72	38.25	2.18	44.03	3.49
24	34.35	2.68	36.71	3.61	40.89	3.57
25	31.16	0.64	34.80	2.06	38.08	2.66
26	31.76	0.73	36.29	2.95	41.91	3.75

ตาราง ข- 1 (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง	5 นาที		10 นาที		15 นาที	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
27	31.82	0.61	33.01	1.42	36.43	2.25
28	31.56	1.19	35.45	1.66	40.13	3.72
29	35.39	3.14	38.39	3.35	40.21	3.10
30	30.86	0.35	33.69	2.25	38.27	3.04
31	32.09	1.38	38.04	2.63	42.09	3.39
32	31.70	0.82	33.26	0.82	38.69	3.03
33	32.26	0.60	35.63	1.27	39.72	3.12
34	30.96	0.35	35.11	2.05	40.53	3.18
35	35.61	2.85	39.40	2.54	42.26	3.17
36	33.48	1.52	38.36	3.16	41.29	3.51
37	35.49	2.80	39.14	3.08	42.90	3.25
38	31.40	0.85	36.24	2.44	39.43	2.68
39	31.48	0.77	37.16	2.57	41.59	3.33
40	31.64	0.80	36.22	2.93	40.62	3.30
41	35.78	3.06	41.44	3.65	44.51	3.11
42	33.10	1.52	37.49	3.06	40.53	2.98
43	31.18	0.93	36.29	2.18	40.79	2.98
44	34.26	2.50	39.59	3.14	44.30	3.64
45	33.60	1.43	38.95	3.13	44.21	3.89
46	31.62	0.82	38.20	2.39	42.53	2.26
47	33.70	2.57	37.92	3.62	41.07	3.21
48	31.06	0.67	37.08	2.22	38.93	3.50
49	32.35	1.66	37.55	2.88	42.83	3.34
50	30.84	0.40	35.24	2.36	39.78	3.28
51	32.06	0.67	35.56	2.24	41.72	3.11
52	30.88	0.52	35.70	1.88	40.04	3.37

ตาราง ข – 1 (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง	5 นาที		10 นาที		15 นาที	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
53	30.82	0.58	36.25	2.26	40.03	3.33
54	31.88	0.24	34.49	1.40	41.28	2.98
55	34.15	2.01	39.26	3.61	45.72	3.78
56	32.18	0.38	35.93	1.74	41.85	3.42
57	32.08	0.53	35.97	2.00	41.17	3.00
58	31.94	0.34	35.87	1.36	42.46	3.45
59	32.66	0.56	41.50	3.08	47.52	3.48
60	33.82	1.99	38.42	3.15	44.96	3.17
61	34.11	1.78	40.05	3.08	45.78	3.76
62	35.44	1.53	39.65	2.72	44.53	3.37
63	35.47	0.96	38.65	2.13	43.67	3.05
64	32.96	0.80	39.02	2.03	44.34	2.70
65	33.82	1.02	40.65	2.57	46.07	3.05
66	34.66	2.62	39.40	3.29	44.41	3.73
67	32.82	1.83	37.27	3.41	44.65	3.42
68	33.98	2.03	38.74	2.68	44.23	3.55
69	33.74	2.06	38.69	2.90	43.45	2.60
70	33.94	1.53	38.90	4.48	43.09	5.04
71	31.43	2.41	35.00	3.11	37.88	3.73
72	33.46	4.04	38.18	2.54	41.93	3.01
73	31.99	1.50	37.53	4.18	42.79	3.38
74	33.09	1.78	36.18	2.15	39.42	2.49
75	33.29	1.63	41.63	3.32	45.89	3.99
76	33.28	1.68	39.03	2.89	44.31	3.04
77	36.79	1.41	38.79	2.67	43.49	3.65
78	33.88	1.56	39.24	2.87	44.53	2.36

ตาราง ข – 1 (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง	5 นาที		10 นาที		15 นาที	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
79	33.40	1.43	40.14	3.00	44.38	2.95
80	34.41	1.86	36.50	3.88	38.78	2.92
81	32.58	2.11	37.03	2.01	40.98	2.90

ภาคผนวก ค

ภาพการทดลองการอบมะขามเป็องตันตั้งแต่เวลา 1 ชั่วโมง ถึง 6 ชั่วโมง



ภาพที่ ค-1 ภาพการอบมะขามเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ ค-2 ภาพการอบมะขามเวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ ค-3 ภาพการอบมะขามเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ ค-4 ภาพการอบมะขามเวลา 4 ชั่วโมง



ภาพที่ ค-5 ภาพการอบมะขามเวลา 5 ชั่วโมง



ภาพที่ ค-6 ภาพการอบมะขามเวลา 6 ชั่วโมง

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นายธนภัทร มะณีแสง
Mr. Thanapat Maneesaeng
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำพิเศษ
4. ตำแหน่งทางวิชาการ -
5. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก
โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร
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

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

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

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

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

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

- การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม ทุนวิชัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 2558