



โครงการทางวิศวกรรม

เรื่อง

กระบวนการผลิตและการพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดัน
ไฮโดรสแตติก

Production Process and the Development of Low-Sodium
Salted Egg Production using Hydrostatic Pressure

นางสาวกัณฑ์กมล ตามา	รหัสนักศึกษา 6515125006
นางสาวธิดารัตน์ คำฟู	รหัสนักศึกษา 6515125029
นายปรเมศวร์ แสนคำมูล	รหัสนักศึกษา 6515125036
นายพุมิพงศ์ จ๊ะโด	รหัสนักศึกษา 6515125041
นายศรุต แก้วคำ	รหัสนักศึกษา 6515125054

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีการศึกษา 2566



โครงการทางวิศวกรรม

เรื่อง

กระบวนการผลิตและการพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดัน
ไฮโดรสแตติก

Production Process and the Development of Low-Sodium
Salted Egg Production using Hydrostatic Pressure

นางสาวกัญต์กมล ตามา	รหัสนักศึกษา 6515125006
นางสาวธิดารัตน์ คำฟู	รหัสนักศึกษา 6515125029
นายปรเมศวร์ แสนคำมูล	รหัสนักศึกษา 6515125036
นายพุฒิพงศ์ จ๊ะโด	รหัสนักศึกษา 6515125041
นายศรุต แก้วคำ	รหัสนักศึกษา 6515125054

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีการศึกษา 2566



กระบวนการผลิตและการพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก
Production Process and the Development of Low-Sodium Salted Egg Production using
Hydrostatic Pressure

นางสาวกนกมล ตามา	รหัสนักศึกษา 6515125006
นางสาวธิดารัตน์ คำฟู	รหัสนักศึกษา 6515125029
นายปรเมศวร์ แสนคำมูล	รหัสนักศึกษา 6515125036
นายพุดพิงศ์ จ๊ะโด	รหัสนักศึกษา 6515125041
นายศรุต แก้วคำ	รหัสนักศึกษา 6515125054

โครงการนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะกรรมการสอบโครงการ

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครวราชันย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา)

..... คณบดีวิทยาลัยพลังงานทดแทน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)

วันที่ 31 เดือน มกราคม พ.ศ.2567 ที่ทำการสอบ

@ ลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการวิศวกรรม กระบวนการผลิตและการพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก(Production Process and Development of Low Sodium Salted Egg Production Products using Hydrostatic Pressure) และลุล่วงไปด้วยดีก็เพราะได้รับการช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัคราพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษา และแนะนำวิธีการเขียนข้อเสนอโครงการบรรลุล่วงวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

คณะผู้จัดทำขอเสนอโครงการฯ ขอขอบคุณอาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา และรองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล คณะอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร ที่กรุณามาเป็นกรรมการข้อสอบโครงการในครั้งนี้

ขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนสนับสนุนเพื่อทำโครงการพลังงานทดแทนเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรสมัยใหม่ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้งบประมาณสนับสนุนโครงการยกระดับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการใหม่ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรสมัยใหม่(ภายใต้กิจกรรม : พัฒนากำลังคนด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอัจฉริยะ)”สำหรับนักศึกษาปริญญาตรีประจำปีงบประมาณ 2565 สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หากผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำโครงการขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นางสาวกัณฑ์กมล ตามา

นางสาวธิดารัตน์ คำฟู

นายปรเมศวร์ แสนคำมูล

นายพุดพิงศ์ จ๊ะโต

นายศรุต แก้วคำ

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ	กระบวนการผลิตและการพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก	
ผู้ทำโครงการ	1. นางสาวกัณต์กมล ตามา	รหัสนักศึกษา 6515125006
	2. นางสาวธิดารัตน์ คำฟู	รหัสนักศึกษา 6515125029
	3. นายปรเมศวร์ แสนคำมูล	รหัสนักศึกษา 6515125036
	4. นายพุดพิงศ์ จ๊ะโด	รหัสนักศึกษา 6515125041
	5. นายศุภุต แก้วคำ	รหัสนักศึกษา 6515125054
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครวราชนันท์	
กรรมการ	1. รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล	
	2. อาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา	

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาผลกระทบสัดส่วนของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) และเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride, KCl) ที่สัดส่วนของเกลือผสม (NaCl: KCl) ที่ 5 สัดส่วนของเกลือผสม ได้แก่ 100 ต่อ 0, 75 ต่อ 25, 50 ต่อ 50, 25 ต่อ 75 และ 0 ต่อ 100 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก และใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยเทคนิคความแตกต่างโดยรวมทั้งหมด (Overall difference tests) ของกลุ่มผู้ทดสอบ 15 คนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด การดำเนินโครงการวิจัยส่วนที่สองการพัฒนาเครื่องเร่งการดองเกลือโดยใช้แรงดันไฮโดรสแตติกสำหรับแปรรูปไข่เค็มครั้งละ 200-250 ฟอง เพื่อศึกษาการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก

ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนของเกลือผสมระหว่างของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโพแทสเซียมคลอไรด์ที่สัดส่วนที่ 50 ต่อ 50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนักได้คะแนนความยอมรับสูงสุด เกลือโซเดียมคลอไรด์ลดลงจากการดองด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ (วิธีการดองแบบดั้งเดิม) ลง 27.53 เปอร์เซ็นต์ ผลการดำเนินการผลิตไข่เค็มด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก โดยทดสอบไข่เปิด 100 ฟอง ต่อสารละลายเกลือผสมปริมาณ 20 ลิตร ด้วยความดันไฮโดรสแตติกที่ความดัน 1.0 บาร์ พบว่าการผลิตไข่เค็มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกสามารถช่วยลดเวลาในการผลิตไข่เค็ม เหลือ 6 วัน ผลการตรวจสอบคุณภาพไข่เค็ม มีค่าสีในระบบ CIE-La*b* เท่ากับ 48.51 ± 1.63 , 19.26 ± 1.64 และ 40.17 ± 2.53 ตามลำดับ และปริมาณโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 344.93 ± 2.64 มิลลิกรัม ในขณะที่การดองด้วยเกลือผสม ด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นใช้เวลาในการดอง 28 วัน และมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 492 ± 6.13 มิลลิกรัม ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติกสามารถแปรรูปเร็วกว่าวิธีแบบดั้งเดิมเท่ากับ 78.57 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดปริมาณโซเดียมถึง 25.53 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ไข่เค็ม, โซเดียมต่ำ, เกลือผสม, การถ่ายเทมวล, แรงดันไฮโดรสแตติก, เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์

ABSTRACT

Project Title Production Process and the Development of Low Sodium Salted Egg
Production Products using Hydrostatic Pressure

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. Miss Kankamol Tama | Student ID 6515125006 |
| 2. Miss Thidarat Khamfu | Student ID 6515125029 |
| 3. Mr. Poramet Saenkhammun | Student ID 6515125036 |
| 4. Mr. Phutthiphong chado | Student ID 6515125041 |
| 5. Mr. Sarut Kaewkham | Student ID 6515125054 |

Adviser Associate Professor Dr.Rittichai Assawarachan

Committee 1. Associate Professor Samerkhwan Tantikul
2. Miss Tasanee Chaiya

The objective of this study was to develop a low-sodium salted egg product by using hydrostatic pressure. The study was divided into 2 parts: studying the effects of the proportion of sodium chloride salt (NaCl) and potassium chloride salt (KCl) at the 5 proportions of mixed salt (NaCl: KCl) included 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, and 0 : 100 weight-to-weight percentage, and finding the most suitable condition using the technique of Overall difference tests method for sensory testing by a group of 15 testers. The second part of the research project, A salt pickling accelerator by using hydrostatic pressure (pressure vessel) is developed for processing 200-250 low-sodium salted eggs at a time using hydrostatic pressure.

The results of the study found that the proportion of salt mixed between NaCl and KCl at a proportion of 50:50 weight-by-weight percentage received the highest acceptance score. Sodium chloride salt decreased by 27.53 percent from traditional method. The results of salted egg production using hydrostatic pressure by testing 100 duck eggs per 20 liters of mixed salt solution with hydrostatic pressure at 1.0 bar, can reduce the production time for salted eggs to 6 days. When it comes to salted egg quality inspection, the color values in the CIE-La*b* system were 48.51 ± 1.63 , 19.26 ± 1.64 , and 40.17 ± 2.53 , respectively, and the NaCl content was 344.93 ± 2.64 mg. Whereas traditional pickling mixed with salt takes 28 days to pickle and has NaCl content of 492 ± 6.13 mg. Therefore, the development of a low-sodium salted egg product by using hydrostatic pressure can be processed 78.57 percent faster than traditional method, and can reduce sodium content by 25.53 percent.

Keyword: salted egg, low-sodium, salt mixed, mass transfer, hydrostatic pressure

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร.....	3
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของไข่เค็ม.....	3
2.2 การแปรรูปไข่เค็ม.....	6
2.3 บทบาทของเกลือในการผลิตไข่เค็ม	11
2.4 การผลิตไข่เค็มโซเดียมต่ำ.....	12
2.5 นวัตกรรมการแปรรูปไข่เค็มด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่	15
2.6 การวิเคราะห์คุณภาพอาหาร	16
2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีการวิจัย สถานที่ดำเนินงานวิจัย	23
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	24
3.2 การศึกษากระบวนการดองไข่เค็มด้วยวิธีแบบดั้งเดิม	25
3.3 การศึกษาศึกษาอัตราส่วนระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride)	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การพัฒนาพัฒนาอุปกรณ์แปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก.....	29
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพไข่เค็ม	30
3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	36
4.1 การศึกษาผลของปริมาณเกลือผสมต่อคุณภาพไข่เค็ม ด้วยวิธีดองเกลือ	36
4.3 การศึกษาผลการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก.....	43
4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพไข่เค็ม ระหว่างการดองเกลือและการใช้แรงดัน	45
ไฮโดรสแตติก	
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	53
ก. การคำนวณและการออกแบบถัง pressure vessel.....	53
ข. แบบร่างทางวิศวกรรมเครื่องจักรในการเร่งการดองเกลือด้วยถัง pressure vessel	57
ค. การคำนวณต้นทุนค่าและจุดคุ้มทุนในการสร้างเครื่อง pressure vessel.....	64
ง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ไข่เค็ม)	67
ประวัติผู้ทำโครงการ	74

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	คุณค่าทางโภชนาการของไข่เป็ดเค็ม (100 กรัม) 4

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 การเตรียมไขเปิดสำหรับการดองเข็ม	7
2.2 การแช่ในกรดน้ำส้ม (น้ำส้มสายชู) เพื่อลดความหนาของเปลือกไข่	7
2.3 การสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไข่แดงจากไขเปิดและไขเค็ม	8
2.4 การดองน้ำเกลือ	8
2.5 การแปรรูปไขเค็มโดยวิธีการพอกดินผสมเกลือ	9
2.6 ไขเค็มที่พอกด้วยเกลือผสมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	10
2.7 การถ่ายภาพและ การเปลี่ยนแปลงไข่ที่เสนอในระหว่างการเติมเกลือในไขเปิด.....	10
3.1 แผนการดำเนินโครงการวิศวกรรม	23
3.2 เกลือ.....	24
3.3 การเตรียมไขเปิด เพื่อใช้ในการทดลอง	25
3.4 แช่ในน้ำส้มสายชู หรือ สารละลายกรดแอซิดิกความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์	25
3.5 การวัดขนาดของไขเปิด.....	26
3.6 การวัดขนาด และปริมาตรหลังแช่กรดน้ำส้ม.....	26
3.7 การตรวจสอบรอยร้าว และการเตรียมสารละลายเกลือ	27
3.8 การแปรรูปไขเค็มโดยวิธีการดองด้วยน้ำเกลือ	28
3.9 ไดอะแกรมการของเครื่องแปรรูปไขเค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก	29
3.10 เครื่องเครื่องแปรรูปไขเค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกต้นแบบ	29
3.11 ลักษณะปรากฏของไขเค็มก่อน และหลังต้ม.....	31
3.12 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ.....	31
3.13 การวัดสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b* ของสีไข่แดง.....	32
3.14 เครื่องวัดค่าระดับความเค็ม (Salinometer)	33
3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม	34
4.1 การเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*-value) สีไข่แดงดองสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ	37
4.2 การเปรียบเทียบค่าแดง-เขียว (a*-value) สีไข่แดงดองสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ	24
4.3 การเปรียบเทียบค่าเหลือง-น้ำเงิน (b*-value) สีไข่แดงดองสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ	24

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.4	ลักษณะปรากฏของไข่แดงเปิดที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 7 วัน.....39
4.5	ลักษณะปรากฏของไข่แดงเปิดที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 14 วัน.....40
4.6	ลักษณะปรากฏของไข่แดงเปิดที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 21 วัน.....41
4.7	ลักษณะปรากฏของไข่แดงเปิดที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วัน.....42
4.8	การทดสอบแรงการดองไข่เค็มด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก43
4.9	การเติมอากาศอัด และตั้งค่า safety valve44
4.10	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่แดง 1 กรัม ที่ดองด้วยสารละลายเกลือผสมที่สัดส่วนต่างๆ ภายใต้ความดันบรรยากาศ45
4.11	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่แดง 1 กรัม ที่ดองด้วยสารละลายเกลือผสมภายใต้ความดันไฮโดรสแตติก ที่ 1.0 บาร์.....46
4.12	กระบวนการ Salting in และ Salting out47
5.1	ตัวอย่างไข่เค็มโซเดียมต่ำผสมสารสกัดจากสมุนไพร ด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับความนิยมมาก และเป็นที่ยอมรับในการบริโภคของคนไทยในทุก ๆ ภาคของประเทศ เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น ผลิตภัณฑ์ไข่เค็มมีคุณประโยชน์ทางโภชนาการเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ และมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน และยังเป็นผลผลิตที่เพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี (กุลชลี และคณะ, 2563) ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถแปรรูปได้ 2 วิธี ได้แก่ การแช่ในสารละลายน้ำเกลือ (Brining method) และการพอกด้วยดินผสมเกลือ (Coating method) เกลือที่ใช้ในวิธีนี้คือเกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก (%w/w) และใช้เวลาในการดองหรือพอกนานถึง 14-28 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (ไม่โดนแสงแดด) อาศัยหลักการออสโมซิส (Osmosis) เพื่อแทรกซึมสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูงเข้าสู่เนื้ออาหาร (ณัฐณา และคณะ, 2565) จากข้อมูลทางโภชนาการของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส) พบว่าไข่เค็ม 1 ฟอง จะทำให้ร่างกายได้รับโซเดียมเฉลี่ย 500-1,000 มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าการรับประทานชนิดอื่นมากถึง 5 เท่า (<https://www.thaihealth.or.th>) รายงานของ Asril (2020) พบว่าไข่เค็มต้มสุก (น้ำหนักเฉลี่ย 60-70 กรัมต่อฟอง) มีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 680 มิลลิกรัม หรือคิดเป็นปริมาณโซเดียมที่ร่างกายได้รับเท่ากับ 971.43 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม อย่างไรก็ตามองค์การอนามัยโลกแนะนำปริมาณในการบริโภคเกลือไม่ควรเกิน 5 กรัมต่อวัน ซึ่งมีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัม จากผลสำรวจปริมาณการบริโภคเกลือของประชากรทั่วโลกพบว่ามีค่าสูงเกินมาตรฐาน โดยคิดเฉลี่ยประมาณ 9-12 กรัมต่อวัน เทียบเท่าการบริโภคโซเดียมเท่ากับ 3,600-4,800 มิลลิกรัม (World Health Organization, 2020) ดังนั้นถ้ามีการบริโภคไข่เค็มเพิ่มเข้าไปจะส่งผลให้ได้รับปริมาณโซเดียมไม่น้อยกว่า 6,000 มิลลิกรัม การได้รับโซเดียมในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลต่อความดันโลหิตในร่างกาย เป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคไต และหัวใจวาย ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยี และนวัตกรรมเกษตรแปรรูปเพื่อช่วยลดปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม เป็นไปตามกระแสคนรักสุขภาพ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมูลค่า และเป็นที่ต้องการในปัจจุบันอย่างมาก สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ ณัฐณา และคณะ (2565) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride; KCL) โดยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์นั้นไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคไต และหัวใจวาย และข้อมูลจากองค์การอนามัยโลก พบว่าประชากรยังขาดเกลือโพแทสเซียมจากการรับประทานอาหารแบบปกติ ทั้งนี้เนื่องจากราคาเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์มีราคาแพงกว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ถึง 5 เท่า กรรมวิธีการในการผลิตไข่เค็มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก เป็นการผสมผสานกรรมวิธีแบบดั้งเดิมโดยนำเอาข้อดีของกรรมวิธีแบบดั้งเดิมมารวมเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นหนทางในการแก้ปัญหาทำให้ได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอของความเค็มของไข่ในแต่ละชุดการผลิต ทั้งยังสามารถนำน้ำเกลือที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ลดต้นทุนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและได้ไข่เค็มที่สะอาด ถูกสุขลักษณะ มีคุณภาพและความสม่ำเสมอที่ดีกว่าไข่เค็มที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

ดังนั้นโครงการวิศวกรรมนี้ มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วย สารทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกเพื่อเร่งการการออสโมซิสเข้าสู่เนื้ออาหารเป็นนวัตกรรมเกษตรแปรรูปที่สามารถลดเวลา และปริมาณการใช้เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยแบ่งเป็นการพัฒนาระบบการแปรรูปไข่เค็มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก และการเปรียบเทียบคุณภาพของไข่เค็มแบบปกติ (ตัวแปรควบคุม) และไข่เค็มใช้ความดันไฮโดรสแตติก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสัดส่วนของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการพัฒนากระบวนการผลิตไข่เค็มโซเดียมต่ำ

1.2.2 เพื่อสร้างอุปกรณ์แปรรูปไข่เค็มโดยการอัดแรงดันไฮโดรสแตติกพร้อมระบบการทำงานสำหรับแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำขนาด 200-250 ฟอง และทดสอบการดองเกลือผสมด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ทดลองแปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้สารละลายเกลือที่มีส่วนผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) ในอัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0: 100 สัดส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ

1.3.2 พัฒนาอุปกรณ์แปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกที่ระดับความดัน ที่ 1.0 บาร์ ทำงานสำหรับแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำขนาด 150-200 ฟอง ที่เวลาในการดอง ทุกๆ 24 ชั่วโมง

1.3.3 ทดสอบแปรรูปไข่เค็ม ไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก และเปรียบเทียบกับการแปรรูปไข่เค็มด้วยวิธีปกติ

1.3.4 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ เวลาในการแปรรูปไข่เค็ม สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b* และปริมาณโซเดียมของไข่เค็ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 โครงการวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐาน และค่าพารามิเตอร์ของการพัฒนากระบวนการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก

1.4.2 ได้เครื่องต้นแบบในการแปรรูปไข่เค็มเพื่อสุขภาพด้วยเทคโนโลยีแรงดันไฮโดรสแตติก

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลพื้นฐานของไข่เค็ม

ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถนอมอาหารโดยใช้เกลือ เพื่อให้ไข่เก็บไว้ได้นานขึ้น และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าให้กับไข่ด้วย มีทั้งไข่เป็ดเค็ม ไข่ไก่เค็ม และไข่นกกระทาเค็ม ไข่เค็มเป็นอาหารที่คนไทยนิยมรับประทานกันมาก เนื่องจากวิธีการทำง่าย นำมารับประทานง่าย ใช้ประกอบอาหารอื่นๆได้หลากหลาย เช่น ทำอาหารคาว ทำไส้ขนมเปียะ ไส้ขนมไหว้พระจันทร์ ใช้ตกแต่งอาหาร เป็นต้น การทำไข่เค็มมี 2 วิธี คือ

1. ไข่เค็มดอง เป็นไข่เค็มที่ได้จากการนำไข่เป็ดสดมาแช่ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20-25 เป็นเวลานาน 15-20 วัน จะสามารถนำมาบริโภคได้ (ชมพู่, 2555)
2. ไข่เค็มพอก เป็นวิธีดั้งเดิมของชาวจีน และสืบทอดต่อกันมาจนถึงปัจจุบัน โดยการใช้ดินเหนียวผสมกับน้ำเกลือ ความเข้มข้นร้อยละ 25-30 จนดินเหนียวสามารถปั้นเป็นก้อนได้ จึงนำมาพอกไข่ไว้เป็นเวลา 10-15 วัน การทำไข่เค็มพอกของชาวจีนมีหลายวิธี เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าไข่ฮูลิดาน (hulidan) ได้จากการนำไข่มาพอกด้วยส่วนผสมของเกลือ ดินเหนียว และกลบ ในอัตราส่วน 1 : 3 : 5 นวดให้เข้ากันแล้วนำมาพอกไข่ให้มิดทั่วทั้งฟองหนาประมาณครึ่งนิ้ว เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 1 เดือน ไข่แดงจะเริ่มขึ้นและแข็งตัว มีสีเข้ม และมีกลิ่นเค็มเกิดขึ้น หรือ ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าไข่แซแดน ได้จากการนำข้าวสุกมาผสมกับเกลือ แล้วนำมาพอกไข่ ทำให้ไข่สามารถเก็บได้นานอย่างน้อย 6 เดือน มีชาวจีนบางกลุ่มใช้เกลือ ดินเหนียว ขี้เถ้า กลบหรือถ่านปน มาผสมรวมกันแล้วนำมาพอกไข่ (วิฑูร, 2525)

2.1.1 ลักษณะและคุณภาพไข่เค็ม

ลักษณะภายนอกไข่เค็มจะมีลักษณะภายนอกเหมือนไข่สด คือ เปลือกสีขาว ขุ่น เห็นเป็นเงากลมสีดำนบนเปลือกไข่ซึ่งเป็นส่วนของไข่แดงแต่ถ้าเป็นไข่เค็มที่ต้มในน้ำที่ใส่สารส้มเล็กน้อย เปลือกไข่จะสาก และมีผงคล้ายแป้ง มีสีขาวนวลเคลือบอยู่

ลักษณะภายนอกของไข่เค็มที่ดี เปลือกต้องไม่มีการเน่าหรือแตกร้าว (นิรนาม, 2537) ลักษณะภายในเมื่อเป็นไข่ดิบ ไข่ขาวจะเหลวสีขาวขุ่น ส่วนไข่แดงจะเป็นก้อนกลมแข็ง สีแดง เมื่อนำมาต้มไข่ขาวจะมีสีขาวขุ่น เนียนนุ่ม และมีกลิ่นเค็มของเกลือ ส่วนไข่แดงมีสีส้มแดงเข้ม เนื้อสัมผัสคงตัวและหยาย มีส่วนของน้ำมันเยิ้มออกมา (Trongspanic และ Dawson, 1974) ไข่เค็มที่ดีไข่ขาวจะมีเนื้อละเอียด รสเค็มปานกลาง ไข่แดงมีสีส้มแดงเข้ม น้ำมันเยิ้ม และรสเค็มเล็กน้อย

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของไข่เค็ม

ไข่จัดเป็นอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีน ถือว่าเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีกรดอะมิโนชนิดจำเป็นครบถ้วน เมื่อนำมาแปรรูปเป็นไข่เค็มแล้ว คุณค่าทางโภชนาการของไข่ยังคงอยู่ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1.1 คุณค่าทางโภชนาการของไข่เป็ดเค็ม (100 กรัม)

สารอาหาร	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม)	62.2
โปรตีน (กรัม)	14.6
ไขมัน (กรัม)	15.5
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	น้อยมาก
พลังงาน (แคลอรี)	198.0
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated) (กรัม)	3.8
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (monounsaturated) (กรัม)	6.4
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (polyunsaturated) (กรัม)	2.7
โคเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	890
เกลือแร่	
โซเดียม (มิลลิกรัม)	1,690.0
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	800.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	99.0
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	13.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	270.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	3.2
ทองแดง (มิลลิกรัม)	0.5
สังกะสี (มิลลิกรัม)	3.5
คลอไรด์ (มิลลิกรัม)	2,920.0
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	0.1
วิตามิน	
เรตินอล (ไมโครกรัม)	85.0
ไธอะมิน (มิลลิกรัม)	0.16

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

สารอาหาร	ปริมาณ
ไรโบเฟลวิน (มิลลิกรัม)	0.52
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.1
วิตามินบีสิบสอง (ไมโครกรัม)	3.5
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	0.0

ที่มา: Holland และคณะ (1989)

2.1.3 การตลาดของไข่เค็ม

ปัจจุบันไข่เค็มยังคงเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เนื่องจากไข่เค็มสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าไข่สด จึงมีการผลิตและจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมเกษตรที่มีแนวโน้มในการขยายตัวเพิ่มขึ้น การจำหน่ายไข่เค็มจะมีลักษณะเหมือนสินค้าตัวอื่นๆ คือมีการจำหน่ายจากผู้ผลิตไปยังผู้ค้าส่ง ผู้ค้าส่งนำไปจำหน่ายต่อยังพ่อค้าปลีกและผู้ค้าปลีกนำไปจำหน่ายแก่ผู้บริโภคโดยตรง นอกจากนี้ยังวางจำหน่ายตามห้างสรรพสินค้า และร้านค้าปลีกย่อยทั้งในกรุงเทพและต่างจังหวัด ส่วนไข่เค็มดินสอพองนอกจากมีการจัดจำหน่ายดังกล่าวแล้ว ยังมีการจำหน่ายภายในจังหวัด โดยตั้งร้านขายตามข้างทางเพื่อจำหน่ายให้แก่นักท่องเที่ยว ใช้เป็นของฝากแก่ญาติพี่น้องทางบ้าน เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีชื่อเสียงของจังหวัด (เสาวภา,2538)

การตลาดต่างประเทศของไข่เค็มนั้น ยังไม่เป็นที่รู้จักของผู้บริโภคในประเทศแถบยุโรป เพราะไม่มีการประชาสัมพันธ์ ประกอบกับชาวยุโรปไม่นิยมบริโภคอาหารหมักดอง แต่ทางเอเชียเป็นที่รู้จักมานานเนื่องจากไข่เค็มเริ่มมีการพัฒนาขึ้นในแถบเอเชีย จากการสำรวจโดยการสอบถามพบว่ามีการจำหน่ายไข่เค็มไปยังประเทศไต้หวัน จีน และสหรัฐอเมริกา เฉพาะในรัฐที่มีคนเอเชียอาศัยและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต

2.1.4 ปัญหาการผลิต

การแปรรูปไข่เค็มยังเป็นอาชีพที่ทำกันเฉพาะในครัวเรือน ยังไม่ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานของรัฐ จึงทำให้การผลิตยังคงอยู่ในรูปการทำเองมากกว่าเป็นอุตสาหกรรม และเนื่องจากในปัจจุบันมีผู้ผลิตไข่เค็มเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ไข่เค็มที่ผลิตได้นั้นมีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ เพราะยังไม่มีกระบวนการควบคุมคุณภาพ ดังนั้นถ้ามีการสนับสนุนจากหน่วยงานของภาครัฐและภาคเอกชน อนาคตการขยายจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนไปเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะเพิ่มมากขึ้น (ธานี,2536)

2.2 กระบวนการแปรรูปไข่เค็ม

ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถนอมอาหารเกลือ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกรรมวิธีการผลิตไข่เค็มมี 2 วิธี คือ วิธีการแช่ในน้ำเกลือ (Brining method) และวิธีการพอกด้วยดินผสมเกลือ (Coating method) เกลือที่ใช้ คือ เกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 25 และใช้ระยะเวลาในการดองหรือพอก 2-4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง อาศัยหลักการออสโมซิส (Osmosis) เพื่อแทรกซึมสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงเข้าสู่เนื้ออาหาร ส่วนน้ำและความชื้นภายในไข่จะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มและเปลือกออกสู่บรรยากาศภายนอก หลักการนี้ใช้ในการดึงน้ำออกจากวัตถุดิบซึ่งจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (Water activity; aw) และควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้นาน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหาร

การแปรรูปไข่เค็ม นิยมใช้การแปรรูปด้วยการพอกไข่ (Coating) ด้วยดินเหนียวผสมกับเกลือหรือไข่ในน้ำเกลืออิมตัว และการดองในน้ำเกลือ (Brining) ซึ่งการผลิตไข่เค็ม ด้วยวิธีการแช่ในน้ำเกลือทำได้เร็วกว่าและสะดวกกว่าเมื่อเทียบกับวิธีพอกดิน (Yang และ Chen, 2001) การดองเกลือทั้งวิธีการพอกเกลือและการดองน้ำเกลือตลอดจนระยะเวลาในการดองเกลือส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของไข่สด (Kaewmanee และคณะ, 2009) สำหรับวิธีการพอกเกลือนั้น การกำหนดสูตรของเกลือหรือดินได้ผ่านการพัฒนาสูตรและมีความต่อเนื่องโดยมีเป้าหมายระยะยาวในการสร้างผลิตภัณฑ์ไข่เค็มที่มีคุณภาพดี (Yuwawutto, 1995) ปริมาณเกลือที่ใช้ในสูตรมีผลอย่างมากต่อคุณลักษณะของไข่เค็ม สูตร ประกอบด้วยดินเหนียว 60 เปอร์เซ็นต์ และเกลือ 40 เปอร์เซ็นต์เพื่อการเคลือบที่เหมาะสม ควรเติมน้ำที่ระดับ 32.4 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมของดินที่ใช้พอกไข่เพื่อให้มีการพอกเกลือที่เหมาะสม กระบวนการถนอม รักษาไข่เค็มด้วยวิธีนี้จะเสร็จภายใน 25 วันหลังจากเริ่มกระบวนการพอกเกลือและมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 1.71 เปอร์เซ็นต์ และ 3.98 เปอร์เซ็นต์ในไข่แดงและไข่ขาว (ไข่เค็มต้ม) ตามลำดับ

2.2.1 การแปรรูปไข่เค็มแบบดองน้ำเกลือ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 2.1 การเตรียมไข่เปิดสำหรับการดองเค็ม

(ก) ไข่เปิด (ข) ล้างทำความสะอาด (ค) ไข่เปิดที่ล้างทำความสะอาด



(ก)



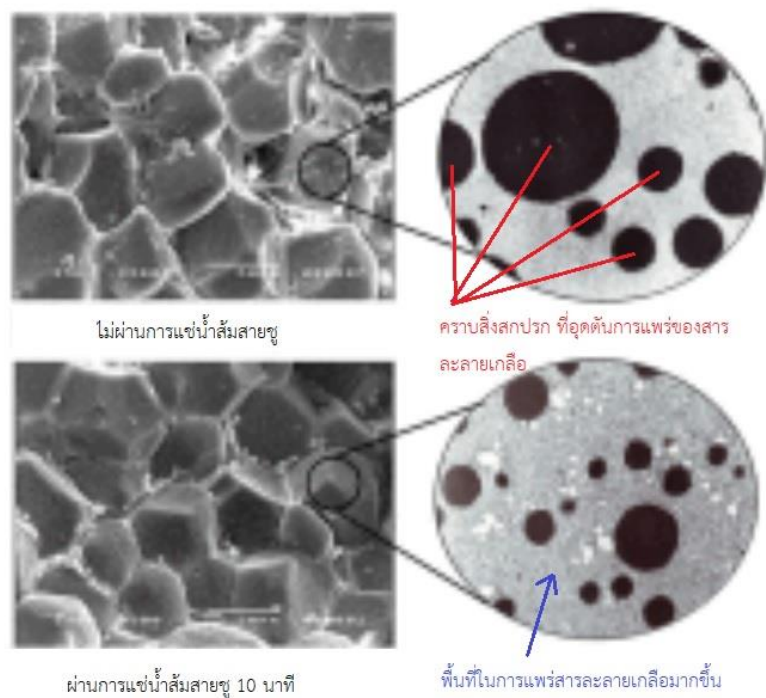
(ข)



(ค)

ภาพ 2.2 การแช่ในกรดน้ำส้ม (น้ำส้มสายชู) เพื่อลดความหนาของเปลือกไข่

(ก) แช่ในน้ำส้มสายชูเป็นเวลา 10 นาที (ข) ลอกคราบสิ่งสกปรก (ค) ตรวจสอบรอยร้าว



ภาพ 2.3 การสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไข่แดงจากไข่เป็ดและไข่เค็ม
ที่มา: Benjakul และ Kaewmanee (2017)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 2.4 การดองน้ำเกลือ

(ก) เทสารละลายน้ำเกลือ (ข) รอให้สารละลายน้ำเกลือเย็นตัว (ค) ปิดฝาและเก็บในที่ไมโดนแสง

2.2.2 การแปรรูปไข่เค็มแบบพอกดินผสมเกลือ



ภาพ 2.5 การแปรรูปไข่เค็มโดยวิธีการพอกดินผสมเกลือ

ที่มา: Sootawat และ Thammarat (2017)

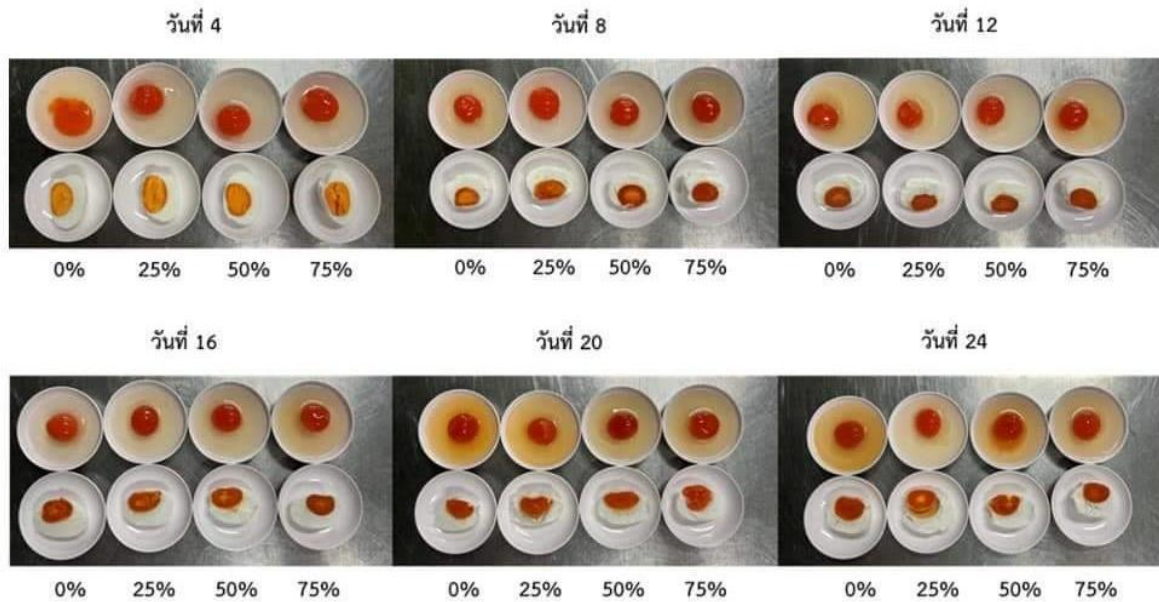
ขั้นตอนที่ 1 นำไข่เป็ดมาล้างทำความสะอาด จากนั้นผึ่งทิ้งไว้ให้เปลือกแห้ง

ขั้นตอนที่ 2 นำดินสอพองใส่กะละมัง เติมน้ำสะอาดลงไป แช่ทิ้งไว้ 1 คืน

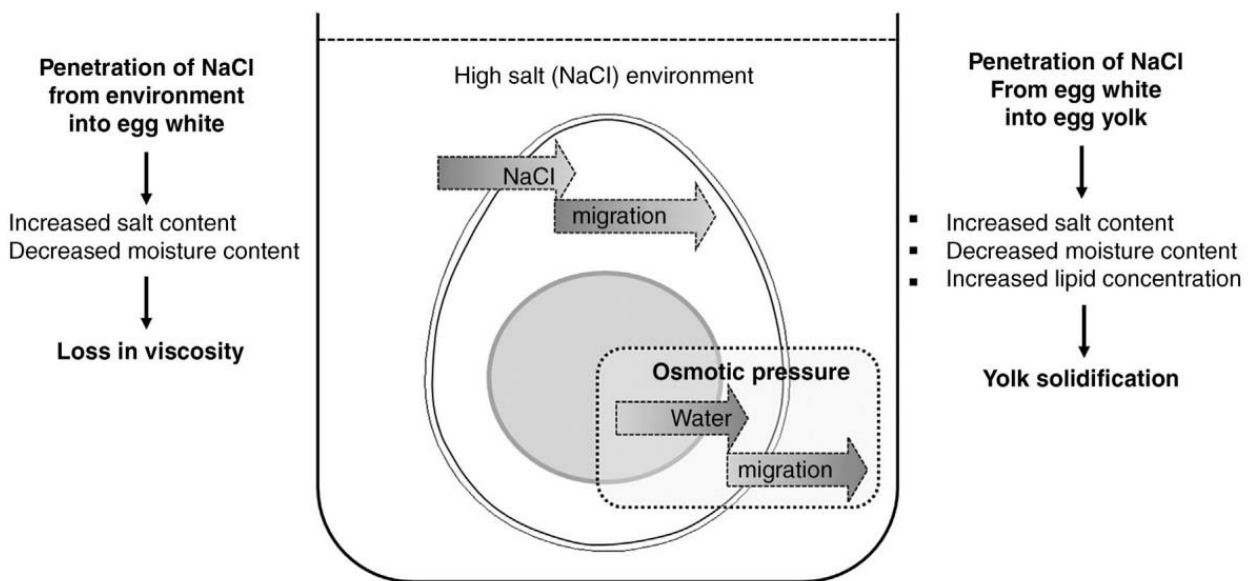
ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นเทน้ำที่แช่ดินสอพองออกให้หมด เหลือไว้แต่ดินสอพอง

ขั้นตอนที่ 4 เติมเกลือป่นลงไปดินสอพอง คนให้เกลือป่นละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกันกับดินสอพอง

ขั้นตอนที่ 5 จากนั้นนำไข่เป็ดสดลงไปจุ่มกับดินสอพอง เมื่อดินสอพองพอกทั่วทั้งฟองไข่แล้ว นำไข่ไปคลุกกับขี้เถ้าหรือใบเตยสับอีกครั้งหนึ่งตามที่ต้องการ จากนั้นนำไข่มาวางในตะกร้าหรือภาชนะที่เตรียมไว้ ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 20 วัน



ภาพ 2.6 ไข่เค็มที่ฟอกด้วยเกลือผสมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ



ภาพ 2.7 การถ่ายเทมวล และการเปลี่ยนแปลงไข่ที่เสนอในระหว่างการเค็มเกลือในไข่เป็ด

ที่มา: Soottawat และ Thammarat (2017)

2.3 บทบาทของเกลือในการผลิตไข่เค็ม

โซเดียมคลอไรด์หรือเกลือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในการแปรรูปไข่ ในแง่ของการเก็บรักษาหรือการถนอมอาหาร โซเดียมคลอไรด์มีบทบาทในการลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา การเติมเกลือลงในอาหารจะทำให้เซลล์จุลินทรีย์อยู่ภายใต้แรงดันออสโมติก (osmotic shock) เนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในเซลล์ ดังนั้นจึงชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์หรืออาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ตายได้ เกลือไม่เพียงแต่มีประโยชน์สำหรับการเก็บรักษาเท่านั้น แต่ยังปรับเปลี่ยนลักษณะของไข่อีกด้วย ในระหว่างกระบวนการทำไข่เค็ม เกลือจะค่อยๆ แพร่กระจายเข้าไปในไข่ขาวและไข่แดงผ่านรูพรุนและเยื่อหุ้มของเปลือกไข่โดยใช้วิธีการดองหรือพอกดิน เยื่อหุ้มชั้นในของไข่เป็นอุปสรรคสำคัญในการแพร่เกลือ (Chen และคณะ, 1999) การแพร่ขยายจะเกิดขึ้นเร็วกว่า 5 เท่า ในไข่ที่ไม่มีเยื่อเมมเบรนของเปลือกชั้นในเมื่อเทียบกับไข่ที่มีเปลือกชั้นในอยู่ เมื่อเกลือแทรกเข้าไปในไข่ ปริมาณเกลือจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับความชื้นของไข่ขาวและไข่แดงที่ลดลงในเวลาเดียว เมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นการสูญเสียความชื้นจะเด่นชัดมากขึ้น การสูญเสียความชื้นจากไข่แดงของไข่เป็ดมีมากกว่าไข่แดงของไข่ไก่ เนื่องจากความแตกต่างของขนาดรูพรุนและโครงสร้างของเปลือกระหว่างไข่ของสัตว์ปีกทั้งสองชนิด โดยทั่วไปการสูญเสียความชื้นของไข่แดงจะมากที่สุด ในช่วงหลังของการต้มน้ำเกลือ เนื่องจากเยื่อหุ้มไข่แดงอ่อนตัวลง อย่างไรก็ตามความชื้นในไข่ขาวของไข่เป็ดและไข่ไก่ลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกัน (Chi และ Tseng, 1998) การเปลี่ยนแปลงที่ค่อยเป็นค่อยไปเหล่านี้เมื่อเวลาผ่านไปจะมีการสูญเสียความชื้นควบคู่ไปกับการสะสมของ ปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม ส่วนใหญ่จะใช้เป็นตัวกำหนดลักษณะหรือคุณภาพของไข่เค็มที่ เก็บรักษาไว้ทั้งในรูปแบบดิบและต้มสุกแล้ว นอกจากการสูญเสียความชื้นแล้ว เกลือยังมีบทบาท ในการสร้างเนื้อสัมผัสที่ละเอียดและน้ำมันที่หลั่งออกมาจากไข่แดงหลังการปรุงอาหาร ไข่ขาว เค็มที่ปรุงแล้วยังแสดงความแตกต่างเล็กน้อยในเนื้อสัมผัสเมื่อเปรียบเทียบกับไข่ขาวต้มสุกที่ไม่ผ่านการปรุง ปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ของไข่ขาวในระหว่างการเก็บรักษาจะกระตุ้นให้เกิด การรวมตัวของโปรตีนไข่ขาว ส่งผลให้มีโครงสร้างที่หยابกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไข่ขาวดิบ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และรสชาติของไข่ขาวเค็มเป็นปัจจัยกำหนดการยอมรับของผู้บริโภค (Kaewmanee และคณะ, 2011)

2.4 การผลิตไข่เค็มโซเดียมต่ำ

การพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำที่พอกดินผสมด้วยฟางข้าวเป็นที่น่าสนใจสำหรับคนที่ต้องการอาหารที่มีเกลือต่ำเยื่อฟางข้าวเตรียมโดยการต้มฟางข้าวในสารละลายต่าง ตามด้วยการล้างและตากให้แห้ง หลังจากการอบแห้งเนื้อฟางข้าวจะถูกนำไปผสมกับน้ำเกลือสมุทร (solar salt) 60 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมจะกระจายเป็นชั้นบางๆ และ ไข่ถูกพอกด้วยดินผสมฟางข้าว หลังจาก 25 วัน ต่อมาไข่ขาวมีความชื้น 82.07 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณโซเดียมไอออน (944 มก.ต่อ100 กรัมของไข่ขาว) เมื่อเทียบกับไข่เค็มจากไข่เป็ดที่ผลิตด้วยสูตร ดั้งเดิม (1690 มก.ต่อ100 กรัมของไข่ขาว) ส่วนไข่แดงเค็มประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ 1.71 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 34.78 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 40.04 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบความชอบของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ไข่เป็ดเค็มที่เก็บรักษาไว้โดยใช้เนื้อฟางข้าวมีความพึงพอใจปานกลางโดยผู้บริโภค 78 เปอร์เซ็นต์ ยอมรับผลิตภัณฑ์ (Yimtoe และคณะ, 2001)

2.4.1 การลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มด้วยกรด

เนื่องจากเปลือกไข่ขัดขวางการแทรกซึมของโซเดียมคลอไรด์ไปยังไข่แดง การลดความหนาของเปลือกจึงเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้เร่งการแทรกซึมของเกลือลงในไข่และเร่งเวลาในการดำเนินการดองเกลือได้ การใช้กรดในการเตรียมไข่เป็ดส่งผลให้ความหนาของเปลือกลดลงพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการแทรกซึมของเกลือตามมาเพื่อกระตุ้นให้เปลือกบางและการแทรกซึมของเกลือเข้าไปในไข่ ไข่เป็ดที่ผ่านการแช่กรดโดยเฉพาะด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทำให้อัตราการแทรกซึมของเกลือเพิ่มขึ้น 2-10 เท่า เป็นผลให้การก่อตัวของเจลตินของไข่แดงถูกกระตุ้น เปลือกไข่มีความหนาน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร เมื่อแช่ไข่ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เป็นเวลา 30 นาที (Lai และคณะ, 1999)

2.4.2 การลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มด้วยเอนไซม์

การใช้เอนไซม์โปรตีเอสในการปรับสภาพไข่อาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการย่นระยะเวลาในกระบวนการดองเกลือให้สั้นลง เอนไซม์โปรตีเอสจะย่อยโปรตีนในเยื่อหุ้มเปลือกออก ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนที่ของเกลือผ่านเยื่อหุ้มที่เสียหายจากการย่อยด้วยเอนไซม์แล้ว อันที่จริงกระบวนการดองเกลือได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถทำให้ลดระยะเวลาโดยใช้กรดอะซิติกและเอนไซม์นิวทราส (โปรตีเอสที่เป็นกลาง) ในการปรับสภาพเบื้องต้นก่อนทำไข่เค็ม (Kaewmanee และคณะ, 2013) กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการแช่ไข่ในกรดอะซิติก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยแช่ในเอนไซม์นิวทราส 0.25% (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 90 นาที ก่อนที่จะดองเกลือ การปรับสภาพด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate) (0.5%, น้ำหนักต่อปริมาตร) เพื่อให้โปรตีนในเยื่อหุ้มเปลือกอ่อนตัวลง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์บนเปลือกไข่

เปิดสดและเพิ่มการซึมผ่านของโซเดียมคลอไรด์ในไข่ในระหว่างกระบวนการถนอมอาหารด้วยการดองเกลือ (Lian และคณะ, 2014)

2.4.3 การลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มด้วยการแรงดัน

การลดระยะเวลาในการเก็บรักษา จำเป็นต้องมีการเพิ่มการเคลื่อนย้ายของเกลือผ่านเปลือกและเยื่อหุ้มเปลือกไข่ ซึ่งเทคโนโลยีแรงดันสูงถูกนำมาใช้เพื่อให้เกลือแทรกเข้าไปในไข่ได้เร็วขึ้น การผลิตไข่เค็มเร็วขึ้นโดยใช้แรงดันไฮโดรสแตติก (Kunkriangwong และคณะ, 2002) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไข่เป็ดที่ถูกแช่ในสารละลายเกลืออิ่มตัวภายใต้แรงดันไฮดรอลิกที่ 500 กิโลปาสกาล (kPa) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ไข่เค็มที่ผลิตโดยกระบวนการนี้มีไข่ขาวที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มเนียนและไข่แดงเป็นสีส้มและมันเงา ซึ่งผู้วิจัยพบว่าเป็นที่ยอมรับอย่างมาก อีกทั้งเทคโนโลยีที่คล้ายคลึงกับการกระตุ้นด้วยแรงดันน้ำ (pulsed pressed-water cycle) ถูกนำไปใช้เพื่อเร่งกระบวนการดองเกลือของไข่เป็ด (Wang และคณะ, 2013) เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการดองเกลือในการผลิตไข่เค็ม (Shiquan และคณะ, 2013)

2.4.4 การผลิตไข่แดงเค็มจากไข่แดงที่แยกจากส่วนอื่นของไข่

ไข่แดงเค็มซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากกว่าไข่ขาวเค็ม และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งไข่ขาวเค็มมักถูกทิ้งเนื่องจากมีการใช้ประโยชน์ได้อย่างจำกัด เพื่อป้องกันการสูญเสียไข่ขาว กลุ่มวิจัยหลายกลุ่มได้พยายามผลิตไข่แดงเค็มด้วยเกลือหลังจากแยกจากไข่ออกไปแล้ว (Chen และคณะ, 1991; Wang, 1991) ขั้นตอนการทดสอบเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่ประสบความสำเร็จในการผลิตไข่แดงเค็ม ในการทำผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มอาจเกี่ยวข้องกับความเร็วของการแพร่กระจายและความเข้มข้นสุดท้ายของเกลือในไข่เค็ม (Wang, 1991) การเพิ่มการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสาร สกัดจากธรรมชาติ เพื่อเพิ่มการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประสิทธิภาพในการเก็บรักษาไข่ จึงมีการใช้สารประกอบหรือสารสกัดบางอย่างร่วมกับกระบวนการดองเกลือของไข่ ตัวอย่างเช่น การใช้ควินเทลในการผลิตไข่เค็มเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติการต้านจุลินทรีย์ ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ไข่เค็มที่ผลิตด้วยการดองน้ำเกลือที่ผสมของเสียที่เป็นของเหลวของแกมเบียร์ (สารสกัดจากใบของเถาไม้เอเชียตะวันออกเฉียงใต้เขตร้อนที่มีแทนนิน) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและยืดอายุการเก็บรักษาไข่เค็มได้เป็น เวลา 63 วัน (Novia และคณะ, 2014) การใช้น้ำมันสกัดจากกระเทียมในระหว่างกระบวนการดองเกลือของ ไข่เป็ดช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย เช่น *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* และ *Staphylococcus aureus* (Harlina และคณะ, 2012)

ถึงแม้ว่าโซเดียมจะเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการรักษาสมดุลของระบบของเหลวในร่างกาย แต่การบริโภคโซเดียมในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลทำให้ระดับความดันโลหิตในร่างกายสูงขึ้น และยังเป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดโรคหัวใจวายได้ ทั้งนี้องค์การอนามัยโลกแนะนำปริมาณการบริโภคเกลือไม่ควรเกิน 5 กรัมต่อวัน ซึ่งจะมีปริมาณโซเดียม 2,000 มิลลิกรัม แต่จากการสำรวจปริมาณการบริโภคเกลือของประชากรทั่วโลกพบว่า มีค่าสูงเกินมาตรฐาน

โดยคิดเป็นปริมาณเฉลี่ยราว 9-12 กรัมต่อวัน เทียบเท่ากับการบริโภคโซเดียม 3,600-4,800 มิลลิกรัม (Cepanec, 2017) แนวโน้มพฤติกรรมของผู้บริโภคที่หันมาให้ความสนใจสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาสูตรอาหารที่ลดปริมาณโซเดียมลงจากเดิมจึงเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตควรให้ความสำคัญ และยังเป็นการเพิ่มทางเลือกในการบริโภคได้อีกทางหนึ่ง จากรายงานปริมาณโซเดียมของไข่เค็มต้มสุกหนึ่งฟองหรือหนึ่งหน่วยบริโภค (น้ำหนักไข่ 60-70 กรัม) พบว่ามีโซเดียมอยู่ราว 680 มิลลิกรัม (Asril, 2020) หรือคิดเป็นปริมาณ 971.43 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ดังนั้นการลดปริมาณเกลือ NaCl ในผลิตภัณฑ์ลงจึงช่วยลดปริมาณการได้รับโซเดียมของผู้บริโภคไข่เค็มลงได้ อย่างไรก็ตามการปรับเปลี่ยนสูตรผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณลักษณะต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในแง่ของรสชาติ และประสิทธิภาพของการถนอมอาหารซึ่งการลดโซเดียมในปริมาณมากโดยไม่มี การปรับปรุงคุณภาพด้านรสเค็มที่สูญเสียไปอาจส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของผู้บริโภคในการเติมเกลือ NaCl กลับลงไปให้อาหารในระหว่างการประกอบอาหาร จึงมีการทดแทนปริมาณเกลือ NaCl ที่ลดลงด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride; KCL) เนื่องจากลักษณะทางด้านเคมีของเกลือทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีสี ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขุ่น และมีรสชาติเค็ม จากงานวิจัยการศึกษาคุณภาพการวิจัยของปลาหนึ่งลดโซเดียมพบว่า เมื่อใช้เกลือ KCL ทดแทนเกลือ NaCl ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความแน่นเนื้อมีค่าลดลงเนื่องจากเกลือ NaCl มีความสามารถในการอุ้มน้ำโปรตีนมากกว่าเกลือ KCL (Thumthanarak และ Teerapornkittikul, 2018) นอกจากนี้ การใช้เกลือ KCL ทดแทน NaCl ในผลิตภัณฑ์แพตตี้เนื้อหมู ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง (Stanley และคณะ, 2017)

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนการใช้เกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCL ที่ระดับร้อยละ 0,25,50,75 และ 100 ในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ทั้งนี้ไข่เค็มพอกดินที่จัดจำหน่ายในท้องตลาดอยู่ในลักษณะของไข่เค็มดิบซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากการแทรกซึมของเกลือที่ผสมดินเข้าสู่เปลือกไข่ตลอดระยะเวลาที่ทำการพอก ดังนั้นการศึกษากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงใช้เป็นข้อมูลเพื่อแนะนำปริมาณการทดแทนเกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCL รวมถึงระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคได้ นอกจากนี้การลดปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์อาหารยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ลดการบริโภคเกลือและโซเดียมในประเทศไทย พ.ศ. 2559-2568 เพื่อลดภาวะโรคจากกลุ่มโรคไม่ติดต่อและลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลทั้งในระดับบุคคลครัวเรือน และประเทศชาติ

2.5 นวัตกรรมการแปรรูปไข่เค็มด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

2.5.1 เทคโนโลยีการใช้อัลตราโซนิกส์

คลื่นอัลตราซาวด์ (ultrasound) ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้านไม่ว่าจะเป็นทางการแพทย์ วัสดุศาสตร์ การวิเคราะห์การตรวจสอบต่าง ๆ แบบไม่ทำลาย นอกจากนี้ยังสามารถนำอัลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ในงาน พัฒนาการแปรรูปอาหารมากมาย เช่นการสกัด (extraction) การตกผลึก (crystallization) การแช่แข็ง (freezing) การกรอง (filtration) และการทำแห้ง (drying) เป็นต้น

ในการผลิตไข่เค็มมีกระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างการดอง คือกระบวนการ osmotic dehydration ซึ่งเป็นกระบวนการดึงน้ำออกโดยการแช่อาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ยังมีผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารในระหว่างกระบวนการ osmotic dehydration ในแอปเปิ้ลแช่อิ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นในกระบวนการผลิตไข่เค็มที่อาศัยหลักการ osmotic dehydration เช่นเดียวกับการทำแอปเปิ้ลแช่อิ่มจึงอาจจะสามารถนำคลื่นอัลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ได้ เพื่อเป็นการลดระยะเวลาการผลิตไข่เค็มลง (ธนาวิทย์,2563)

2.5.2 การแปรรูปด้วยเทคโนโลยีความดันไฮโดรสแตติก

การผลิตไข่เค็มโดยใช้ความดัน Hydrostatic เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มให้สั้นลง ลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มกำลังในการผลิต โดยการนำไข่เป็ดสดมาเพิ่มความดันในน้ำเกลืออิมมัตวที่ 26.8 °Salomae ที่ 2 ปัจจัยคือ ที่ความดัน 500 และ 2,000 กิโลปาสกาล และที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง พร้อมไข่เค็มชุดควบคุมในน้ำเกลืออิมมัตวเป็นเวลา 21 วัน โดยใช้ไข่เป็ดที่มีความกว้าง 44.98 ± 0.54 มิลลิเมตร หนัก 64.48 ± 0.29 กรัม เมื่อวิเคราะห์ไข่เค็มทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส พบว่าแต่ละระดับในการทดลองของปัจจัย เวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการแพร่ของเกลือในไข่เค็ม โดยไข่เค็มที่ได้หลังจาก 21 วัน ไข่ขาวมีสีขาวยืด เนื้อสัมผัสนุ่ม ไข่แดงมีสีส้ม มันวาว และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไข่เค็ม พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับไข่เค็มที่ได้ โดยที่ความดันที่ 500 กิโลปาสกาล และเวลาที่ 48 ชั่วโมง

ดังนั้นกรรมวิธีในการผลิตไข่เค็มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก เป็นการผสมผสานกรรมวิธีแบบดั้งเดิม โดยนำเอาข้อดีของกรรมวิธีแบบดั้งเดิมมารวมเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นหนทางในการแก้ไขปัญหา ทำให้ได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอของความเค็มของไข่ในแต่ละชุดการผลิต ทั้งยังสามารถนำน้ำเกลือที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ลดต้นทุนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และได้ไข่เค็มที่สะอาดถูกสุขลักษณะ มีคุณภาพและความสม่ำเสมอที่ดีกว่าไข่เค็มที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

2.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัสทางอาหาร ด้านสี ด้านกลิ่น ด้านเนื้อสัมผัส ด้านรสชาติ และด้านความชอบโดยรวมที่ผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น

2.6.1 การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ (Difference test) การทดสอบความแตกต่าง เป็นการทดสอบที่ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยรูปแบบของการทดสอบหาความแตกต่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ การทดสอบ เพื่อหาความแตกต่างโดยรวมทั้งหมด (Overall difference tests) และ การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างลักษณะเฉพาะทางประสาทสัมผัส (Attribute difference tests)

2.6.2 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive test) การทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาหรือการทดสอบเชิงพรรณนา เป็นการ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่สนใจในเรื่องการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ชมภู และคณะ (2555) ได้ศึกษาการศึกษาวิจัยหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไข่เค็มดองและไข่เค็มพอก พบว่าไข่เค็มดองมี ส่วนผสมของเกลือร้อยละ 21.5 และน้ำร้อยละ 78.5 และไข่เค็มพอก มีส่วนผสมของเกลือร้อยละ 35 น้ำร้อยละ 15 และดินจอมปลวกร้อยละ 50 โดยใช้ขุยมะพร้าวคลุมไข่เค็มที่พอกแล้วผลการทดสอบ ทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคพบว่าผู้บริโภคให้คำแนะนำความชอบของผลิตภัณฑ์ไข่เค็มดอง และพอกขุยมะพร้าวในคุณลักษณะปรากฏสีไข่ขาว สีไข่แดงกลิ่น เนื้อสัมผัสของไข่ขาวไข่แดง รสเค็มของไข่ขาว รสเค็มของไข่แดงความมันของไข่แดง รสชาติรวม และความชอบรวมในระดับ ปานกลางถึงมาก ตรวจวัดคุณภาพของไข่เค็มพบว่าไข่ขาวไข่เค็มดองมีค่าสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 42.87, -3.10 และ 12.90 ค่า aw 1 ความเค็ม 2.50 ไข่แดงไข่เค็มดองมีค่าสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 23.04, 5.2 และ 11.17 ค่า aw 0.76 ความเค็ม 0.50 ไข่ขาวไข่เค็มพอกขุยมะพร้าวมีค่าสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 38.03, -3.86 และ 14.55 ค่า aw 0.97 ความเค็ม 4.66 ไข่แดงไข่เค็มพอกขุยมะพร้าวมีค่าสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 25.57, 8.50 และ 26.70 ค่า aw 0.64 ความเค็ม 0.50 ผู้บริโภคยอมรับไข่เค็มที่ได้จากการดองและพอกขุยมะพร้าวผู้ทดสอบส่วนใหญ่เป็นผู้หญิงร้อยละ 76 อายุส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 36-40 ปีร้อยละ 26 จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีร้อยละ 70 ประกอบอาชีพข้าราชการต่อเจ้าหน้าที่ของรัฐร้อยละ 50 มี รายได้มากกว่า 9,001 บาทต่อเดือน ผู้บริโภคชอบรับประทานไข่เค็มร้อยละ 84 ซื้อไข่เค็มจากตลาด ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าสะดวกซื้อ นิยมซื้อไข่เค็มพอกคลุมไข่ขาว แกลบสีดำ ไข่เค็มต้มพร้อม รับประทาน มักซื้อไข่เค็ม 2 ฟองต่อเดือน โดยนำมารับประทานกับข้าวต้มหรือข้าวสวย ยำไข่เค็ม รับประทานไข่เค็มในไส้ซาลาเปา ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อไข่เค็ม ให้ความสำคัญกับความสะอาด วัน/เดือน/ปีผลิต หมดอายุและลักษณะปรากฏภายนอกผู้บริโภคยอมรับไข่เค็มพอกขุยมะพร้าว เพราะเห็นว่าผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติสะอาดและปลอดภัย แปลกใหม่ น่าสนใจ เป็นทางเลือกใหม่ในการบริโภค ช่วยลดต้นทุนในการผลิต อยากให้บรรจุไข่เค็มในถุงพลาสติกแล้วใส่ในกล่อง กระดาษเพื่อการจำหน่ายและควรขายในราคาพอละ 6-8 บาท

กุลชลี และคณะ (2563) ได้ศึกษา ศึกษาสภาพและปัญหาด้านผลิตภัณฑ์ของกลุ่มอาชีพ ไข่เค็มใบเตยดินสอพอง ตำบลถนนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี และพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มใบเตยดินสอพองของกลุ่ม อาชีพผู้ผลิต ไข่เค็มใบเตยดินสอพอง ตำบลถนนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ให้มีเอกลักษณ์ที่โดดเด่น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ สมาชิกกลุ่มอาชีพไข่เค็มใบเตยดินสอพอง จังหวัดลพบุรี จำนวน 30 คน และ ผู้นำชุมชนรวมถึง นักวิชาการด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร และด้านการตลาด จำนวน 2 คน และ ลูกค้าที่ซื้อผลิตภัณฑ์ไข่เค็มใบเตย ดินสอพองของกลุ่มอาชีพไข่เค็มใบเตยดินสอพอง ตำบลถนนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี จำนวน 400 คน โดยใช้วิธีการสังเกต การสัมภาษณ์เชิงลึก การเก็บแบบสอบถาม การสนทนากลุ่ม และการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์เนื้อหา และการสรุปผลการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์ไข่เค็มใบเตยดินสอพองของกลุ่มอาชีพไข่เค็มใบเตยดินสอพองตำบลถนนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี มีปัญหาที่สำคัญ คือ มีรสชาติเค็มเกินไป ขาดกลิ่นหอมของใบเตย และขาดการพัฒนา

ตราสินค้าที่เป็นเอกลักษณ์ของตนเอง ไม่มุ่งใจให้ลูกค้าและนักท่องเที่ยวซื้อไปเป็นของฝาก ส่วนการตลาดเชิงปฏิบัติการโดยใช้วัตถุดิบและกระบวนการตามคำแนะนำของนักวิชาการด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร พบว่า คุณภาพของไข่เค็มที่ได้จากการทดลองมีรสชาติกลมกล่อม และไม่เค็มเกินไป ลักษณะที่โดดเด่นของไข่เค็ม ได้แก่ การมีกลิ่นของใบเตยซึมเข้าไปในเนื้อของไข่เค็ม และ ด้านตราสินค้าควรประกอบด้วยชื่อ ของแหล่งผลิตไข่เค็ม สัญลักษณ์และคำขวัญของไข่เค็มควรมีลักษณะที่ดึงดูดใจและง่ายต่อการจดจำ

ธนาวิทย์ (2563) ได้ศึกษากระบวนการผลิตไข่เค็มเป็นกระบวนการถนอมอาหารที่ใช้เวลาในการดองไข่เป็ดในน้ำเกลือความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก นานประมาณ 28 วัน การประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์เพื่อเร่งกระบวนการดองให้เร็วขึ้น โดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ 37 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นเวลา 0, 120, 180 และ 240 นาที พบว่า ค่าออกยูนิตของไข่มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ได้รับคลื่นอัลตราซาวด์แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ทุกช่วงเวลาในกระบวนการดองทำให้ค่าความชื้น เปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาวและไข่แดงที่ระยะเวลาการดอง 21 วัน มีค่าใกล้เคียงกับการดอง แบบปกติที่ 28 วัน แต่ค่าความแข็งของไข่แดงที่ผ่านคลื่นอัลตราซาวด์มีแนวโน้มที่จะสูงกว่า และการให้คลื่นอัลตราซาวด์แบบเป็นจังหวะ โดยให้คลื่น 2 ชั่วโมง และพัก 24 ชั่วโมง ในน้ำเกลือสลับไปมา ใช้เวลาในการดอง 14 วัน จะมีผลของความชื้นและเปอร์เซ็นต์เกลือเทียบทั้งในไข่ขาวและไข่แดงเท่าการดองแบบปกติ 28 วันและการให้คลื่นอัลตราซาวด์ 2 ชั่วโมงและดองไว้ 21 วัน แต่ความแข็งของไข่แดงจะมีค่าต่ำกว่าการดอง ขณะที่สีของไข่แดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ณัฐมา และคณะ (2565) ได้ศึกษาการบริโภคโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูงมีความสัมพันธ์กับโรคต่างๆ รวมถึงโรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจและหลอดเลือดอื่นๆ ผลิตภัณฑ์ของดองโดยเฉพาะไข่เค็มเป็นแหล่งเกลือที่สำคัญในอาหาร ดังนั้นการลดลงของเกลือในไข่เค็มจึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่เค็มเคลือบดินที่แทนที่โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่ระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่าสีสำหรับความอ่อน (L^*) และความเหลืองของไข่แดงเพิ่มขึ้นตามระดับ KCl ที่เพิ่มขึ้น ไข่แดงเค็มที่มีปริมาณ KCl สูงกว่าจะมีค่าอัตราส่วนการแข็งตัวที่ต่ำกว่า และไม่เปลี่ยนเป็นเจลยืดหยุ่นที่สมบูรณ์ ส่งผลให้ไข่แดงมีความแข็งลดลง ในทางตรงกันข้าม ความกระด้างของไข่ขาวต้ม-เค็มเพิ่มขึ้นตามระดับ KCl ที่เพิ่มขึ้น สูตรที่เหมาะสมคือใช้ NaCl 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ KCl 50 เปอร์เซ็นต์ ไข่เค็มนี้มีคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้สูงที่สุดในด้านสี กลิ่น ความเค็ม รสชาติโดยรวม และการยอมรับโดยรวม ซึ่งไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ KCl) อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณ Na^+ ที่ได้จาก Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ของตัวอย่างคือ 711.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ลดลง 2.3 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งสามารถคำนวณได้หนึ่งในสามของค่าสูงสุดที่แนะนำ การบริโภคประจำวันในขณะที่ปริมาณ K^+ คือ 891.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เพิ่มขึ้น 6.7 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สูตรที่เหมาะสมคือใช้ NaCl ปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์หรือ KCl ปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ไข่เค็มนี้มีคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้สูงที่สุดในด้านสี กลิ่น ความเค็ม รสชาติโดยรวม และการ

ยอมรับโดยรวม ซึ่งไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ KCl) อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณ Na^+ ที่ได้จาก Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ของตัวอย่างคือ 711.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ลดลง 2.3 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งสามารถคำนวณได้หนึ่งในสามของค่าสูงสุดที่แนะนำ การบริโภคประจำวันในขณะที่ปริมาณ K^+ คือ 891.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เพิ่มขึ้น 6.7 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สูตรที่เหมาะสมคือใช้ NaCl ปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์หรือ KCl ปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ไข่เค็มนี้มีคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้สูงที่สุดในด้านสี กลิ่น ความเค็ม รสชาติโดยรวม และการยอมรับโดยรวม ซึ่งไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ KCl) อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณ Na^+ ที่ได้จาก Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ของตัวอย่างคือ 711.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ลดลง 2.3 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งสามารถคำนวณได้หนึ่งในสามของค่าสูงสุดที่แนะนำ การบริโภคประจำวันในขณะที่ปริมาณ K^+ คือ 891.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เพิ่มขึ้น 6.7 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

Kaewmanee และคณะ (2009) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติเนื้อสัมผัส และโครงสร้างจุลภาคของไข่เป็ดที่ได้จากวิธีการเคลือบและการแช่ในช่วงเวลาเกลือที่ต่างกัน พบว่าปริมาณความชื้นลดลงโดยมีปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นโดยบังเอิญทั้งในไข่ขาวและไข่แดงในระหว่างการเค็มเกลือ โดยไม่คำนึงถึงกระบวนการเกลือ อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างในปริมาณเกลือในไข่แดง วิธีการเคลือบแบบเพสต์มีแนวโน้มที่จะให้น้ำมันไหลออกมาจากไข่แดงมากกว่าวิธีการแช่ อุณหภูมิการเปลี่ยนผ่านสูงสุด (T_{max}) ของโปรตีนไข่และค่าสารออกฤทธิ์กรด ไทโอบาร์บิทูริก (TBARS) ในไข่แดงเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใส่เกลือเพิ่มขึ้นพบว่าอัตราส่วนการแข็งตัวของไข่แดงใกล้เคียงกันในทั้งสองกระบวนการ ไข่แดงจะพบว่ามี ความแข็งและความยืดหยุ่นสูงกว่าเมื่อใช้วิธีเคลือบแบบเพสต์ ในขณะที่พบว่ามี ความแตกต่าง ความสปริงตัว ความเหนียว และความเคี้ยวได้มากขึ้นเมื่อใช้วิธีแช่ อย่างไรก็ตาม ทั้งสองกระบวนการทำให้ไข่แดงมีความเหนียวแน่นเหมือนกันเมื่อดูไข่แดงอยู่ในแนวเดียวกันอย่างใกล้ชิดเมื่อดำเนินการเค็มเกลือ โดยไม่คำนึงถึงกระบวนการเค็มเกลือ

Ariviani และคณะ (2017) พัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระผ่านนวัตกรรมในกระบวนการเกลือ วิธีการผลิตด้วยนวัตกรรมกระบวนการเกลือโดยใช้สารสกัดใบสักความเข้มข้นต่างๆ และสารโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ความเข้มข้นต่างๆ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไข่เค็มถูกกำหนดโดยการทดสอบเชิงอนุพันธ์ ไข่เค็มที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดีที่สุดจะถูกกำหนดคุณภาพทางโภชนาการด้วยการวัดค่าใกล้เคียงและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยการวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ผลลัพธ์: ผลการวิจัยพบว่า การทดแทน KCl ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณฟีนอลรวม (TPC) ของไข่เค็มแต่จะลดคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งรวมถึงคุณภาพของรสชาติ สี กลิ่น ความโปรดปราน และโดยรวม การเติมสารสกัดจากใบสักช่วยเพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัสและ TPC ของไข่เค็มที่ผลิตโดยใช้สารทดแทน KCl, TPC เพิ่มขึ้นพร้อมกับความเข้มข้นของสารสกัดใบสักที่เพิ่มขึ้น การทดแทน KCl หรือการเติมสารสกัดจากใบสักได้รับการพิสูจน์แล้วว่าช่วยเพิ่มฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระของไข่เค็มได้ ไข่เค็มโซเดียมต่ำ

ที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งผลิตขึ้นโดยใช้สูตรเกลือที่คัดสรรมานั้นมีคุณสมบัติทางโภชนาการและประสาทสัมผัสเทียบเท่ากับไข่เค็มที่ผลิตโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ผลการศึกษา: ไข่เค็มโซเดียมต่ำมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่สามารถผลิตได้ด้วยนวัตกรรมกระบวนการหมักเกลือโดยใช้สารสกัดจากใบสักและ สารทดแทน KCl

Wongnen และคณะ (2023) พัฒนาการวิธีใหม่ในการผลิตไข่เค็มอ่อนโดยใช้เกลือน้ำเกลือโอโซน น้ำเกลือทำโดยการละลาย NaCl (26 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร) ในน้ำหรือน้ำโอโซนที่ความเข้มข้น 50 นาโนกรัมโอโซนต่อมิลลิลิตร (น้ำเกลือโอโซน) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเกลือ น้ำเกลือโอโซนจะทำให้ไข่เค็มโดยมีระดับเกลือสุดท้ายลดลงทั้งในไข่ขาวและไข่แดง หน่วย Haugh ของไข่เค็มที่เกิดจากน้ำเกลือโอโซนมีความคล้ายคลึงกับหน่วยไข่เค็มที่ทำน้ำเกลือ แต่ไข่เค็มที่ผลิตโดยน้ำเกลือโอโซนจะสุกและแข็งตัวเร็วกว่าเนื่องจากดัชนีไข่แดง (0.62) สูงกว่ามากกว่าน้ำเกลือ (0.55) สุดท้ายของไข่เค็มที่เกิดจากน้ำเกลือและน้ำเกลือโอโซนไม่แตกต่างกัน ค่า pH ไม่ว่าจะเติมเกลือด้วยวิธีใดก็ตาม ไข่เค็มทั้งสองฟองมีปริมาณ TVB-N ต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) น้ำเกลือโอโซนเพิ่มปริมาณโปรตีนคาร์บอนิลในไข่ขาวเค็ม ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการรวมตัวของโปรตีนไข่ขาวและทำหน้าที่เป็นตัวกันการแพร่กระจายของเกลือ อย่างไรก็ตาม หลังจากต้มไข่เค็มแล้ว ระดับโปรตีนคาร์บอนิลก็เทียบได้กับโปรตีนไข่ขาวสด ระดับ TBARS ของไข่ขาวเค็มต้มที่เตรียมด้วยน้ำเกลือและน้ำเกลือโอโซนมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าต่ำมาก ค่า TBARS ของไข่แดงเค็มที่เตรียมด้วยน้ำเกลือสูงกว่าค่า TBARS ของไข่แดงเค็มที่เตรียมด้วยน้ำเกลือโอโซน และไข่แดงเค็มทั้งสองค่าแสดงค่า TBARS เพิ่มขึ้นหลังการปรุงอาหาร ส่วนประกอบของไข่ขาวและไข่แดงดูเหมือนจะมีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันโดยทั้งน้ำเกลือและน้ำเกลือโอโซน ตามสเปกตรัม FTIR นอกจากนี้ ลักษณะและสีของไข่แดงและไข่ขาวในไข่เค็มที่เตรียมด้วยน้ำเกลือและน้ำเกลือโอโซนยังเปรียบเทียบกันได้ ไข่ขาวเค็มต้มที่ผลิตด้วยน้ำเกลือโอโซนมีโครงสร้างหนาแน่นกว่าและมีช่องว่างน้อยลงสาเหตุนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณเกลือในไข่เค็มชั้นสุดท้ายลดลงและอัตราการแพร่กระจายของเกลือน้อยลง ซึ่งอาจเกิดจากการออกซิเดชันของโปรตีน และผลที่ตามมาคือการรวมตัวเมื่อนำน้ำเกลือโอโซน

Yuan และคณะ (2017) ไข่เค็มเป็นอาหารยอดนิยมหรือชาวสวน นอกจากนี้ยังเป็นวิธีดั้งเดิมที่สุดในการเก็บรักษาไข่อีกด้วย วิธีการดองไข่เค็มแบบเดิมๆ ใช้เวลานาน ยุ่งยาก และควบคุมได้ยาก เทคโนโลยีการคายน้ำออสโมติกด้วยแรงดันพลซิง (PPOD) ใช้แรงดันพลซิงของสารละลายออสโมติกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดองอย่างมาก รายงานก่อนหน้านี้ใช้ PPOD ในการเตรียมไข่ไก่เค็มได้สำเร็จ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการใช้ PPOD ในการดองไข่เค็ม เนื่องจากมีเปลือกหนากว่าและความสม่ำเสมอต่ำ ในบทความนี้ เวลาที่ใช้แรงดัน 180 kPa ได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับกระบวนการดองโดยการประเมินปริมาณเกลือ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ดัชนีไข่แดง และการประเมินทางประสาทสัมผัส เวลาที่ใช้ต้น 7.5 นาที ส่งผลให้ไข่เค็มสุกมีความเค็ม ความกรอบรอบ และรสชาติที่เหนือกว่า นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการหลังของน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงพื้นผิว ปริมาณความชื้นและการกระจายตัว เปลือกและโครงสร้างจุลภาคของเยื่อหุ้มเปลือกในระหว่างการดองโดยใช้กระบวนการที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาแล้วว่าแรงดันพลซิงเอื้อให้เกิดการหลังของน้ำมันที่สูงขึ้น โดยการเพิ่มความแข็งและความหนืดของการแข็งตัวและการหลัง

ของน้ำมันไข่แดง (EY) ในขณะเดียวกัน แรงดันพัลส์ซึ่งสามารถเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคของเปลือกและเยื่อหุ้มเปลือกได้ เช่นเดียวกับการกระจายน้ำเพื่อช่วยให้ก๊าซและเกลือแทรกซึมได้ง่าย โดยสรุป แนะนำให้ใช้สภาวะการประมวลผล PPOD ที่เหมาะสม (เช่น ความดัน 180 กิโลปาสกาล เวลาแรงดัน 7.5 นาที ตามด้วยเวลาปล่อยแรงดัน 40 วินาที) สำหรับการดองไข่เป็ด พารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการประมวลผลสูงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูง การใช้งานจริง เทคโนโลยีการคายน้ำออสโมติกด้วยแรงดันพัลส์ (PPOD) ใช้แรงดันพัลส์ของสารละลายออสโมติกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดองอย่างมาก การวิจัยของเราสามารถให้คำแนะนำสำหรับการใช้งาน PPOD ต่อไปได้ และ PPOD ยังสามารถเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนวิธีการดองแบบดั้งเดิม

Benjakul และคณะ (2017) ไข่เค็มส่วนใหญ่มาจากไข่เป็ดเป็นผลิตภัณฑ์ไข่ดองแบบดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมอย่างมากในเอเชีย ไข่เป็ดเค็มจะนำมานึ่งหรือต้มแล้วลอกเปลือกก่อนรับประทาน นิยมรับประทานเป็นอาหารเช้า โดยเฉพาะกับข้าวต้มหรือโจ๊ก ไข่แดงเค็มถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นส่วนผสมในขนมอบและผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น ขนมไหว้พระจันทร์หรือเค้กจิ้น การหมักเกลือเป็นวิธีการเก็บรักษาโดยทั่วไป โดยทั่วไปแล้ว การทำไข่เค็มจะมีอยู่ 2 วิธี คือ (1) การแช่ไข่ในน้ำเกลือ (วิธีการแช่เกลือ) หรือ (2) การคลุมไข่ด้วยดินเค็ม (วิธีการเคลือบ) การเคลือบไข่เป็ดด้วยเกลือเป็นวิธีที่นิยมใช้ โดยปกติจะใช้เวลา 2-4 สัปดาห์ในการเก็บไข่ด้วยเกลือ ระยะเวลาที่ยาวนานในการเก็บรักษาไข่จะขึ้นอยู่กับวิธีการเฉพาะที่ใช้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ไข่เค็มสามารถต้ม "พร้อมรับประทาน" แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิในตู้เย็นเป็นระยะเวลานาน มีรสชาติเค็ม และลักษณะของไข่เค็มจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเวลาในการดอง และวิธีการดอง ไข่เค็มสามารถผลิตได้จากไข่ไก่ ถึงแม้ว่ารสชาติและเนื้อสัมผัสจะแตกต่างกันบ้างก็ตาม แต่ส่วนใหญ่ไข่เค็มมักทำมาจากไข่เป็ดเพราะมีลักษณะที่ต้องการมากกว่าไข่ไก่

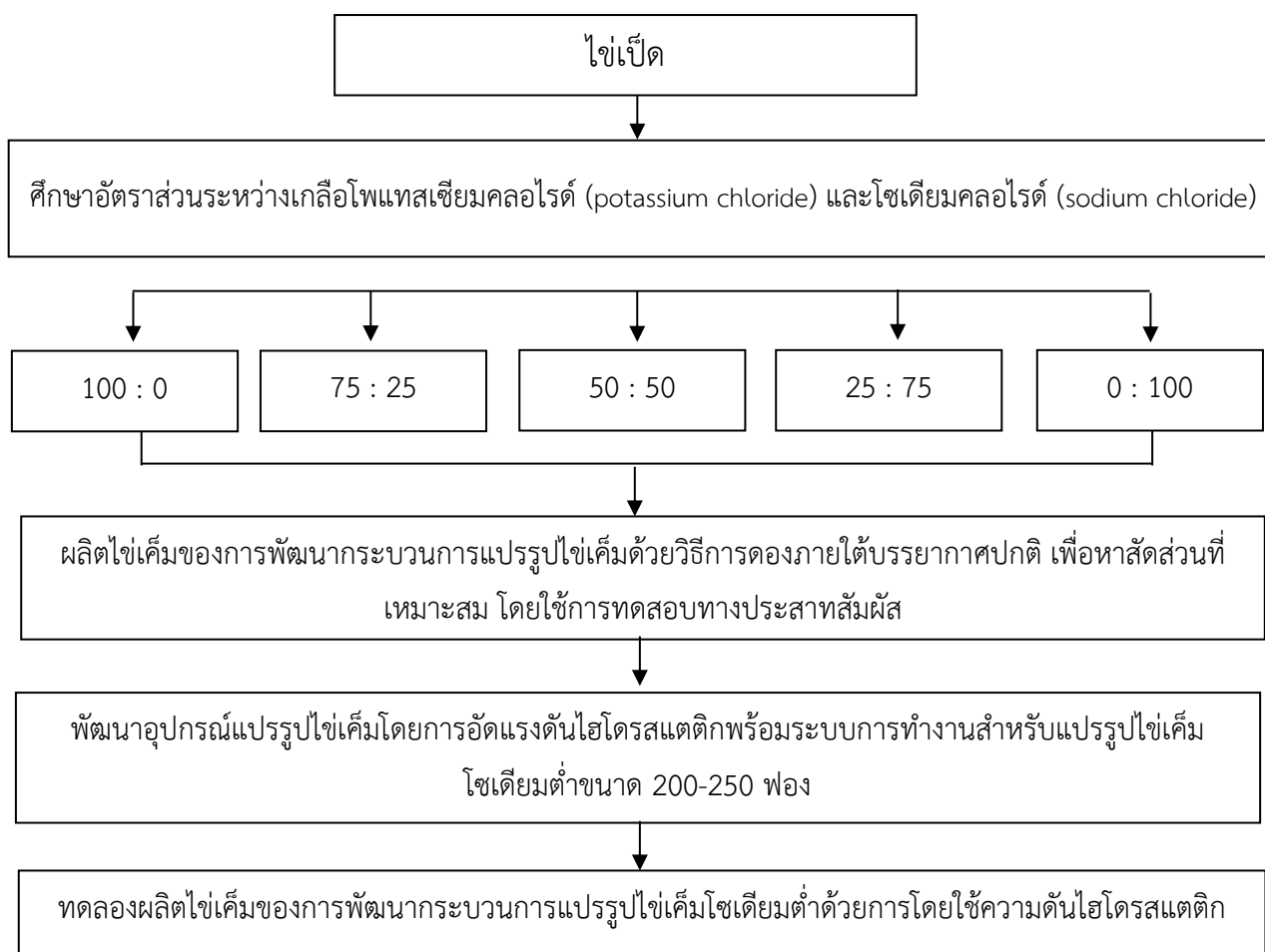
(Li และ Hsich, 2004) ไข่แดงของไข่เป็ดมีความเข้มข้นมากกว่าและมีน้ำมันไหลออกมามากกว่าไข่แดงของไข่ไก่ เปลือกไข่เป็ดมีรูพรุนต่อตารางเซนติเมตรมากกว่าเปลือกไข่ไก่ ซึ่งเอื้อต่อการแพร่กระจายของเกลือเข้าสู่ไข่ แม้ว่าไข่เค็มจะมีการบริโภคกันอย่างแพร่หลายและมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ แต่การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของไข่ทั้งสองฟอง ยังไม่เข้าใจไข่ขาวและไข่แดงที่เกี่ยวข้องกับการก่อตัวของไข่เค็มอย่างชัดเจน สันนิษฐานว่า ต้องใช้เวลาสำหรับกระบวนการเกลือเชิงพาณิชย์เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นตอนนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อทบทวนกระบวนการที่ใช้ในการผลิตไข่เค็มและกลไกการเกิดไข่เค็ม การใช้ทางเลือกอื่นของไข่เค็ม โดยเฉพาะไข่ขาวเค็ม มีการนำเสนอในบทนี้ด้วย

Setyaji และคณะ (2023) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาการใช้เกลือโซเดียมต่ำในบริเวณใกล้เคียงคุณภาพของไข่เค็ม วิธีการวิจัยใช้การออกแบบแบบสุ่มที่สมบูรณ์ด้วยการ : CRD P0 บำบัดแบบควบคุมแรงดัน P1การบำบัดเกลือโซเดียมต่ำ P10 เปอร์เซ็นต์ P2การบำบัดเกลือโซเดียมต่ำ P20 เปอร์เซ็นต์ P3 และการบำบัดเกลือโซเดียมต่ำ P30% ข้อมูลการวิเคราะห์ดำเนินการเกี่ยวกับปริมาณน้ำ โปรตีน ไขมัน และเถ้า วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ SPSS ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการวิจัยพบว่าปริมาณน้ำในไข่ขาวและไข่แดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการพอกเกลือธรรมดาและเกลือโซเดียมต่ำ ปริมาณไขมันก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกการรักษา ปริมาณโปรตีน การพอกด้วยเกลือธรรมดา และเกลือ โซเดียมต่ำ ให้ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนในปริมาณโปรตีนไข่ขาว ($p < 0.05$) การทำไข่เค็มโดยใช้เกลือโซเดียมต่ำจะทำให้ได้ไข่เค็มที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมที่มีระดับโซเดียมต่ำกว่ากลุ่มควบคุม คำสำคัญ: ไข่แปด; โซเดียมต่ำ; ไข่เค็ม

บทที่ 3

วิธีการวิจัย สถานที่ดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้การดำเนินโครงการวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร เรื่อง กระบวนการผลิตและการพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก (Production process and development of low sodium salted egg production products using hydrostatic pressure) เพื่อความรู้ในการผลิตไข่เค็มและวิธีที่ใช้ในการพัฒนากระบวนการดองเกลือ สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตไข่เค็มให้มีคุณภาพตามที่ต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภค ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้



ภาพ 3.1 แผนการดำเนินโครงการวิศวกรรม

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 ไซเป็ด เบอร์หนึ่ง จำนวน 1,000 ฟอง

3.1.2 วัตถุดิบอาหาร

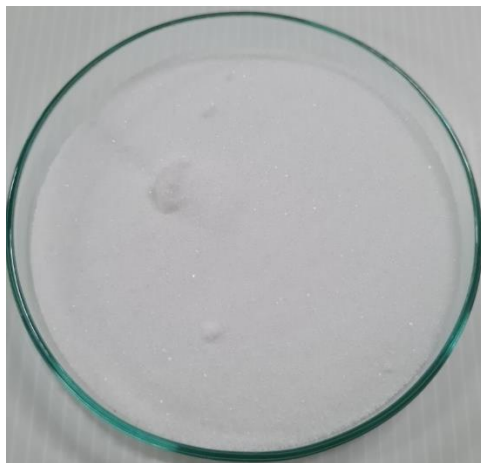
- เกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)
- โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride)
- กรดแอซติก (Acetic Acid)

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบปริมาณโซเดียมทั้งหมด

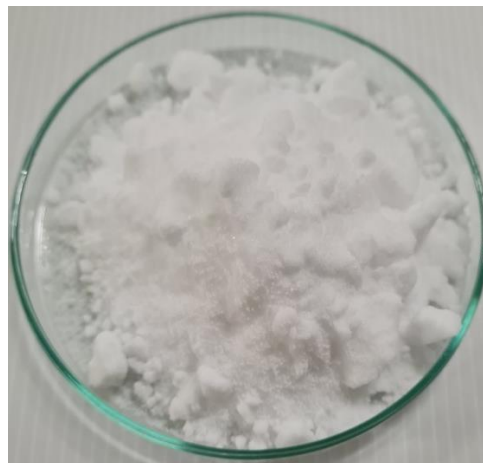
- เมทานอล (Methanol, RCI Labscan, A.R. grade)
- สารซิลเวอร์ไนเตรต (NaAgNO_3)
- สาร ferric alum indicator
- กรดไนตริก (HNO_3 Sigma-Aldrich, A.R. grade)

3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance, Sartorius model CP 224S)
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Metrohm model 744)
- เครื่องวัดสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$



(ก)



(ข)

ภาพ 3.2 เกลือ

(ก) เกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) (ข) โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride)

3.2 การศึกษากระบวนการดองไข่เค็มด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

ไข่เค็มที่ใช้ในการศึกษาโครงการวิศวกรรม เป็นไข่เป็ดที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 45.04 ± 0.34 มิลลิเมตร ยาวเท่ากับ 61.74 ± 0.34 มิลลิเมตร โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 64.74 ± 0.38 กรัม ใช้ในการทดสอบ โดยนำไข่เป็ดมาล้างทำความสะอาด ด้วยน้ำสะอาดจำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำไปแช่ในน้ำส้มสายชู (กรดอะซิติก: acetic acid, $C_2H_4O_2$) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 นาที (ภาพ 3.3 และ 3.4)



(ก)



(ข)

ภาพ 3.3 การเตรียมไข่เป็ด เพื่อใช้ในการทดลอง

(ก) ไข่เป็ด (ข) ล้างทำความสะอาด



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.4 แช่ในน้ำส้มสายชู หรือ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์

(ก) เทกรดน้ำส้ม (ข) แช่ไข่เป็ดในกรดน้ำส้ม (ค) ลอกสิ่งสกปรกจากเปลือกไข่ออก



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.5 การวัดขนาดของไข่เป็ด



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.6 การวัดขนาด และปริมาตรหลังแช่กรดน้ำส้ม

(ก) ล้างทำความสะอาด (ข) วัดความหนาของเปลือกหลังแช่กรดน้ำส้ม (ค) ชั่งน้ำหนักไข่หลังแช่กรดน้ำส้ม



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.7 การตรวจสอบรอยร้าว และการเตรียมสารละลายเกลือ

(ก-ข) ตรวจสอบรอยร้าว (ค) ต้มสารละลายเกลือผสม (ง) เทสารละลายเกลือผสมใส่โหลไข่

3.3 การศึกษาศึกษาอัตราส่วนระหว่างเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์(potassium chloride) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)

ทดสอบดองเกลือผสมระหว่างเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์(potassium chloride) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ตามสัดส่วน 100 ต่อ 0 , 75 ต่อ 25, 50 ต่อ 50, 25 ต่อ 75 และ 0 ต่อ 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อน้ำหนัก นำตัวอย่างตรวจวัดคุณภาพทุก ๆ 3 วัน



(ก)



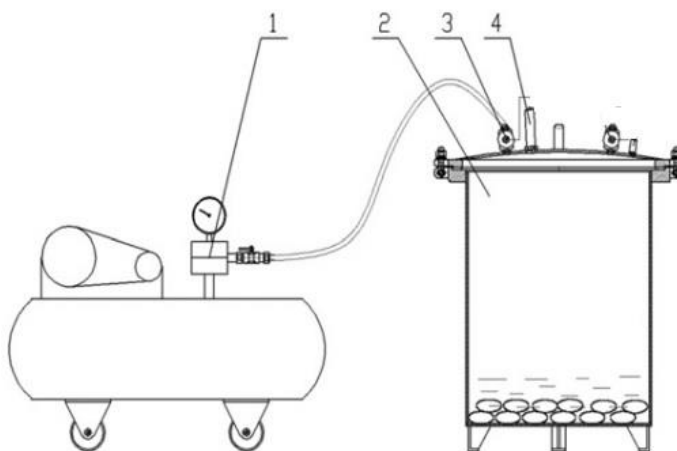
(ข)

ภาพ 3.8 การแปรรูปไข่เค็มโดยวิธีการดองด้วยน้ำเกลือ

(ก) ไข่เป็ดที่แช่ในสารละลายเกลือผสม (ข) ไข่เป็ดที่แช่ในสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ

3.4 การพัฒนาอุปกรณ์แปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก

ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องแปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกแบ่งเป็นการออกแบบถังแรงดันสูงโดยการคำนวณและการออกแบบถัง Pressure vessel (ภาควิชา ก) และการพัฒนาระบบที่ใช้อากาศอัดส่งไปตามท่อลมเพื่อเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล อัดลมลงถัง จากภาพ 3.5 แสดงไดอะแกรมของอุปกรณ์แปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก โดยประกอบด้วยถังลม ถังแรงดัน วาล์วเติมอากาศ และ safety valve ตามลำดับ



ภาพ 3.9 ไดอะแกรมการของเครื่องแปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก

(1) ปัมลมไฟฟ้า (2) ความดันไฮโดรสแตติก (3) วาล์วอัดลม (4) เซฟตี้วาล์ว



ภาพ 3.10 เครื่องแปรรูปไข่เค็มด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกต้นแบบ

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพไข่เค็ม

3.5.1 การวัดสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b*

เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-10 วัดออกมาเป็นค่าความสว่าง (L^* or lightness) ค่าความแดง (a^* or redness) และค่าความเหลือง (b^* or yellowness) มีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งในด้านความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค บางครั้งสีอาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดในการคัดเลือกวัตถุดิบควบคุมขั้นตอนการผลิต และจัดแบ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ปัจจุบันนิยมใช้ระบบสีในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งด้วยมาตรฐานด้านสีคือ Commission International de l'Eclairage (CIE) ซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงวิชาการ หรือระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* -value แสดงถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $(+L^*)$ คือ สีขาว ถึง $(-L^*)$ คือ สีดำ, a^* -value แสดงถึงแกนสีที่ไล่สีจากเขียว ($-a^*$) ไปถึงสีแดง ($+a^*$), b^* -value แสดงถึงแกนสีที่ไล่สีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปถึงสีเหลือง ($+b^*$) และมาตรฐานระบบมุนเซล (munsell color system) ระบบสีของมุนเซลเป็นระบบที่มีชื่อเสียงและได้รับนิยมสูงในการวัดค่าสีของผักและผลไม้ ซึ่งประกอบด้วย Hue-value เป็นสีที่สะท้อนมาจากสีของวัตถุ ซึ่งแตกต่างกันตามความยาวคลื่นแสงที่กระทบวัตถุและสะท้อนกลับมาที่ตา ค่า hue ในมุนเซล, ค่า value เป็นค่าที่ใช้บอกความมืดหรือความสว่าง และ chroma เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มหรือความจางของสี (saturation) ในสัดส่วนของสี (hue) ที่มีอยู่ในสีเทา วัดค่าเปอร์เซ็นต์จาก 0 เปอร์เซ็นต์ (สีเทา) จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ สีเป็นคุณสมบัติเชิงแสงที่สามารถใช้บรรยายคุณลักษณะของวัตถุเกษตรได้ง่ายที่สุดวิธีหนึ่งในการอธิบายสีของวัตถุด้วยคำพูดมาตรฐานการบรรยายลักษณะสีอาจจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ลักษณะทางกายภาพของตาผู้บรรยาย ลักษณะแสงที่ตกกระทบ เป็นต้น ดังนั้นการวัดและการบรรยายสีในเชิงวิชาการจึงต้องมีการจัดมาตรฐานเพื่อเป็นการลดความไม่เป็นกลาง (Bias) ของผู้บรรยายสีของวัตถุนั้นในโครงการวิจัยนี้ใช้การวัดค่าสีในระบบ $L^*-a^*-b^*$ ซึ่งเป็นระบบบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงสีแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE

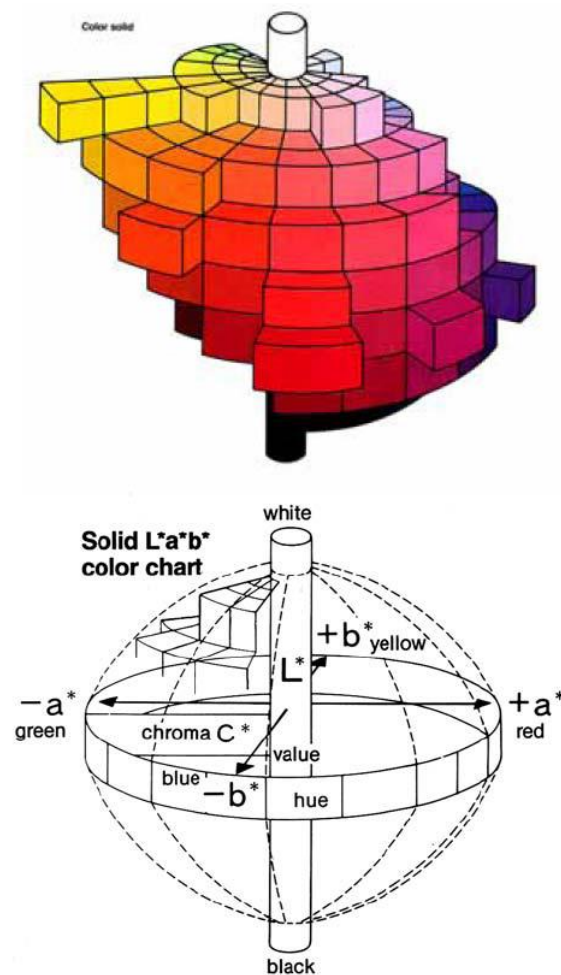


(ก)



(ข)

ภาพ 3.11 ลักษณะปรากฏของไข่เค็มก่อน และหลังต้ม



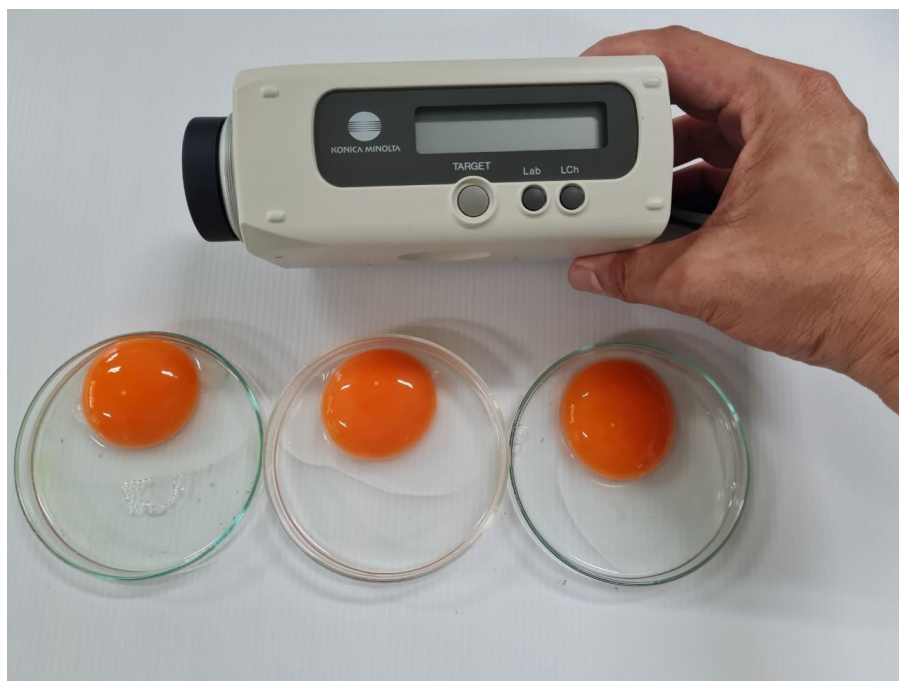
ภาพ 3.12 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.13 การวัดสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b* ของสีไข่แดง
(ก) ตรวจวัดค่าสีของไข่แดงดิบ (ข) ค่าที่แสดงความเป็นสีของไข่แดงดิบ (ค) เครื่องวัดสีและตัวอย่างไข่ดิบ

3.5.2 การวัดค่าความเค็ม



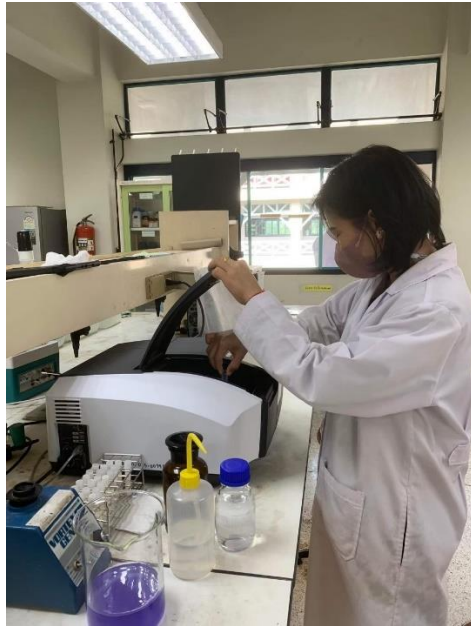
ภาพ 3.14 เครื่องวัดค่าระดับความเค็ม (Salinometer)

3.5.3 การวัดปริมาณโซเดียม และโพแทสเซียม

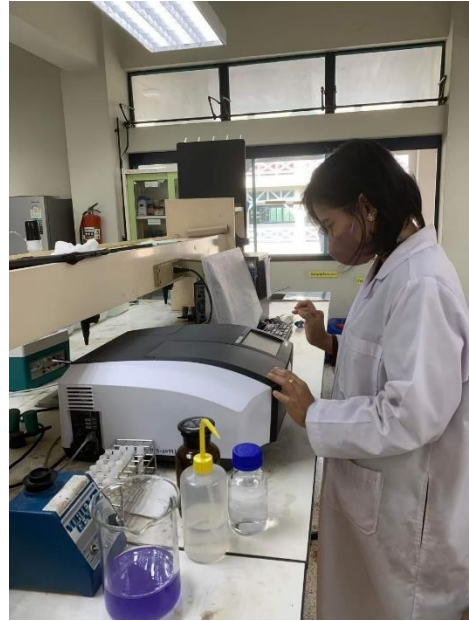
การวิเคราะห์ปริมาณเกลือ โดยนำตัวอย่าง (ไข่แดง 1 กรัม หรือ ไข่ขาว 0.5 กรัม) เติม 0.1 NaNO_3 20 มิลลิลิตร และ HNO_3 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มบน Hot Plate จนของแข็งละลาย นำส่วนผสมที่ได้ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องจากนั้นเติม 5 เปอร์เซ็นต์ ferric alum indicator ปริมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตด้วย 0.1 N KSCN จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน

$$\text{ปริมาณเกลือ (เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ } 5.8 \times [(v_1 \times n_1) - (v_2 \times n_2)] / W$$

โดย V_1 คือ ปริมาตรของ AgNO_3 (ml); N_1 คือ ความเข้มข้นของ AgNO_3 (N); V_1 คือ ปริมาตรของ KSCN (ml); N_2 คือ ความเข้มข้นของ KSCN (N) และ W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม

(ก) นำตัวอย่างไปใส่เครื่องวิเคราะห์ (ข-ค) ดูผลการวิเคราะห์ที่แสดงขึ้นที่หน้าจอ

3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัสทางอาหาร ด้านสี ด้านกลิ่น ด้านเนื้อสัมผัส ด้านรสชาติ และด้านความชอบโดยรวมที่ผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์ไข่เค็มแบ่งออกเป็น ไข่เค็มแบบปกติที่แปรรูปด้วยการดองน้ำเกลือ เป็นเวลา 28 วัน (ตัวแปรควบคุม) และไข่เค็มใช้ความดันไฮโดรสแตติก ที่ความดัน 1,000 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 1 วัน ด้วยการทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ เป็นการทดสอบที่ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยรูปแบบของการทดสอบหาความแตกต่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างโดยรวมทั้งหมด และ การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างลักษณะเฉพาะทางประสาทสัมผัส ด้วยเทคนิคการประเมินระบบ Triangle test และการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive test) การทดสอบเพื่อวิเคราะห์หา ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาหรือการทดสอบเชิงพรรณนา เป็นการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่สนใจในเรื่องการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ด้วยผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 15 คน

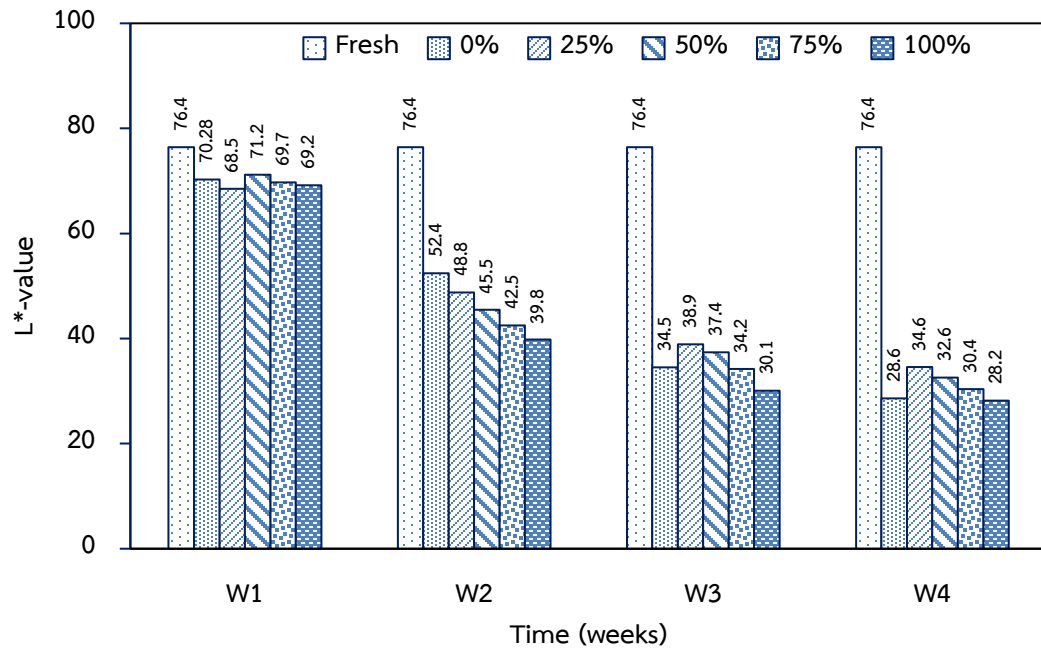
บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

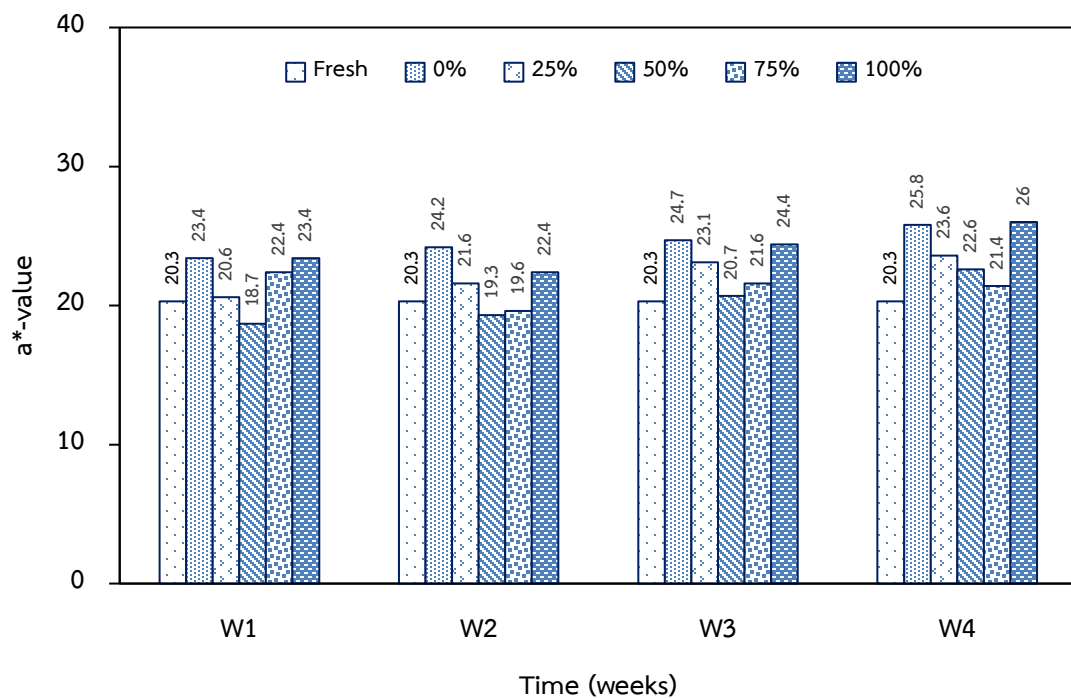
การแปรรูปไข่เค็มด้วยการดองด้วยน้ำเกลือจะต้องใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว (น้ำเกลือ) ที่มีความเข้มข้นประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก ซึ่งถือว่ามีความหนาแน่นสูงมาก โดยน้ำเกลือมีแรงตึงผิว (surface tension) สูงมาก จึงทำให้น้ำเกลือนั้นซึมผ่านรูพรุนที่เปลือกไข่ยากขึ้น ดังนั้นโครงงานวิศวกรรมนี้จึงพัฒนาเครื่องเร่งการถ่ายเทมวลเกลือด้วยแรงดันไฮโดรสแตติกเพื่อเร่งการถ่ายเทเกลือผ่านเข้าเนื้อเยื่อไข่ การใช้ความดันไฮโดรสแตติกสามารถเร่งการตกตะกอนของโปรตีนในไข่ได้ดีขึ้น ทำให้ไขมันในไข่แดงแยกตัวออกมาส่งผลให้ไข่แดงเค็มที่ต้องแตกมันและมีความมันเยิ้มเพิ่มขึ้น โดยการใช้ระยะเวลาในการดองไข่เค็มที่นานส่งผลทำให้ไข่เค็มที่ต้องนั้นถูกดองน้ำมากขึ้น จนเกิดปรากฏการณ์ “salting out” ในไข่แดง ทำให้ไข่แดงแข็งระหว่างดอง ส่วนไข่ขาวยังเหลวอยู่เนื่องจากปรากฏการณ์ของไอออนโซเดียมและคลอไรด์นั้นป้องกันการรวมตัวของอัลบูมินในไข่ขาวจึงทำให้ไข่ขาวไม่แข็งนั่นเอง ดังนั้นการพัฒนาระบบการผลิตและการพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก นั้นมีขั้นตอนในการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาผลของปริมาณเกลือผสมต่อคุณภาพไข่เค็มด้วยวิธีดองเกลือ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) โดยพิจารณาจากความชอบด้านลักษณะปรากฏ (สี กลิ่น และรสชาติ) และผลการวัดสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b* ของไข่แดง จากนั้นนำสารละลายเกลือผสมนำมาการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกที่ความดัน 1 บาร์ จากนั้นตรวจสอบปริมาณโซเดียม โดยเก็บข้อมูลทุก 24 ชั่วโมง

4.1 การศึกษาผลของปริมาณเกลือผสมต่อคุณภาพไข่เค็ม ด้วยวิธีดองเกลือ

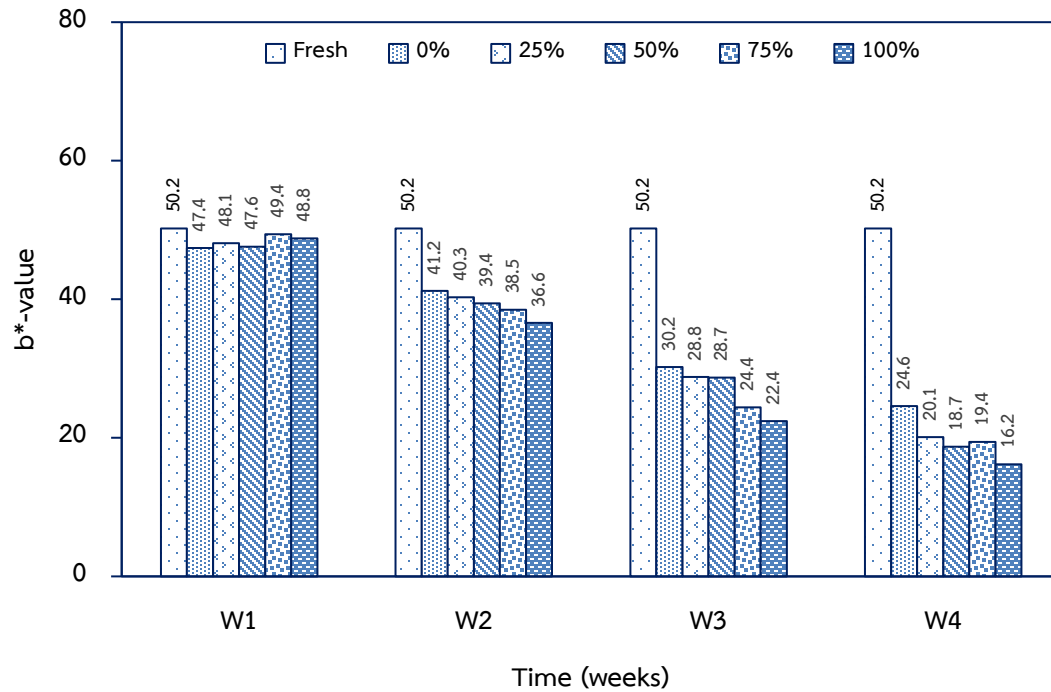
การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไข่เค็มที่ผ่านการดองเกลือผสมระหว่างเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ที่สัดส่วน 100 ต่อ 0, 75 ต่อ 25, 50 ต่อ 50, 25 ต่อ 75 และ 0 ต่อ 100 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก พบว่าเมื่อสุ่มตรวจไข่ออกมาวัดทดสอบทางประสาทสัมผัสของสมาชิกในกลุ่ม พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป



ภาพ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*-value) สีไข่แดงตองสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ

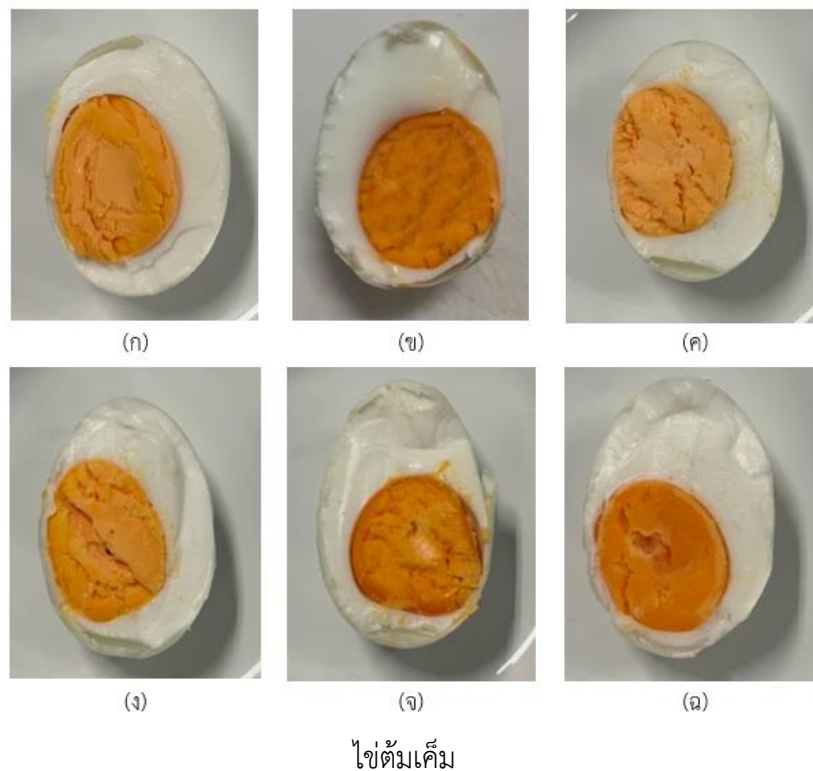
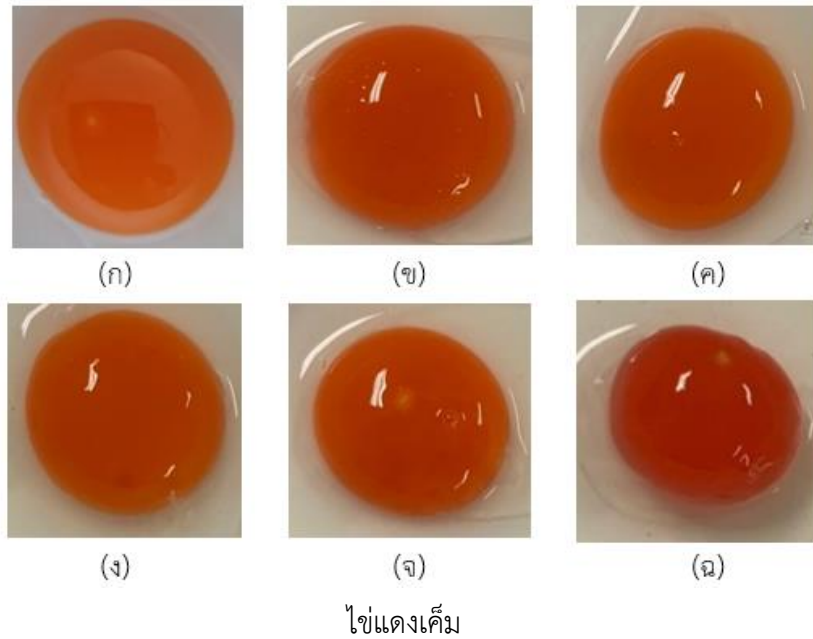


ภาพ 4.2 การเปรียบเทียบค่าแดง-เขียว (a*-value) สีไข่แดงตองสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ

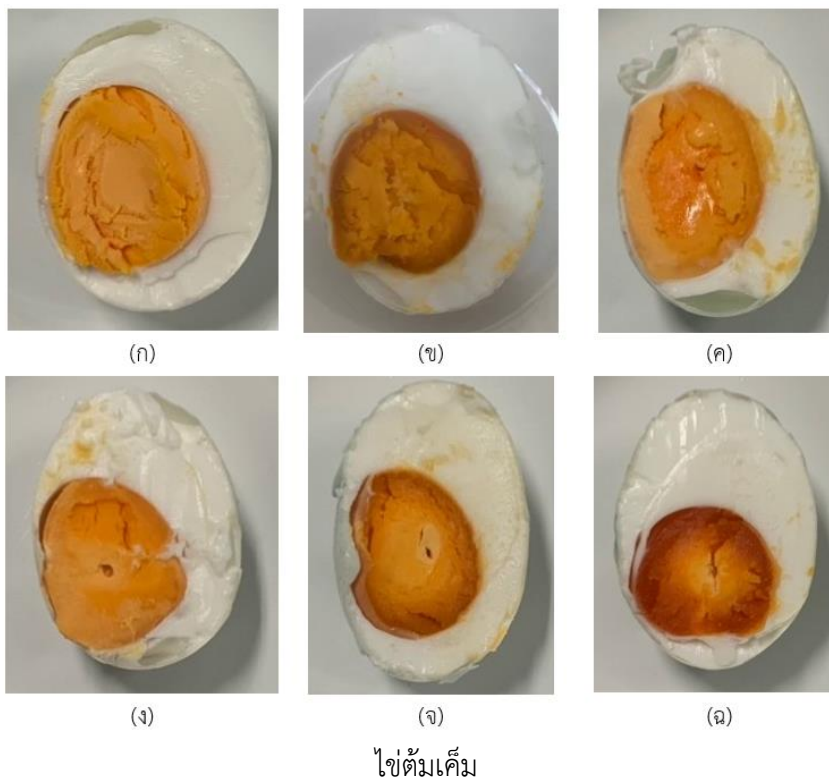
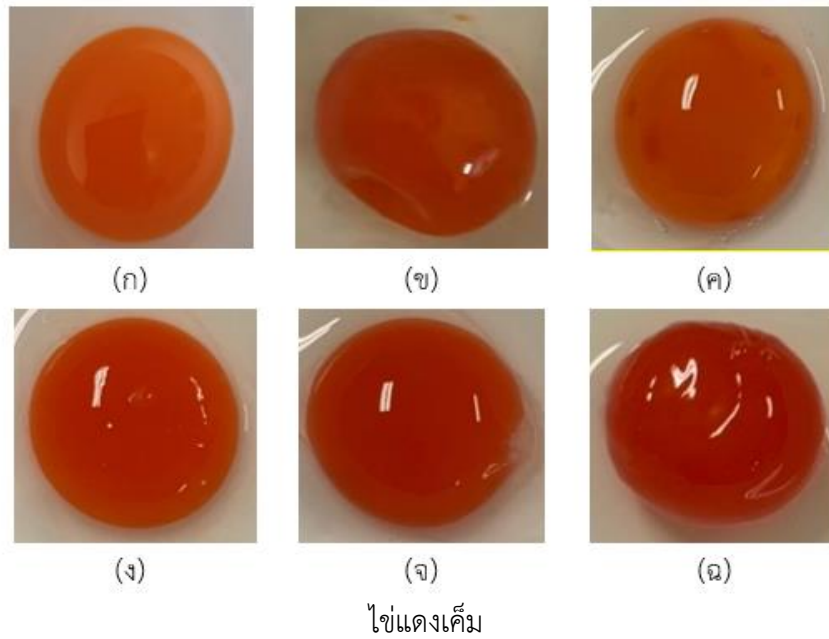


ภาพ 4.3 การเปรียบเทียบค่าเหลือง-น้ำเงิน (b^* -value) สีไข่แดงดองสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ

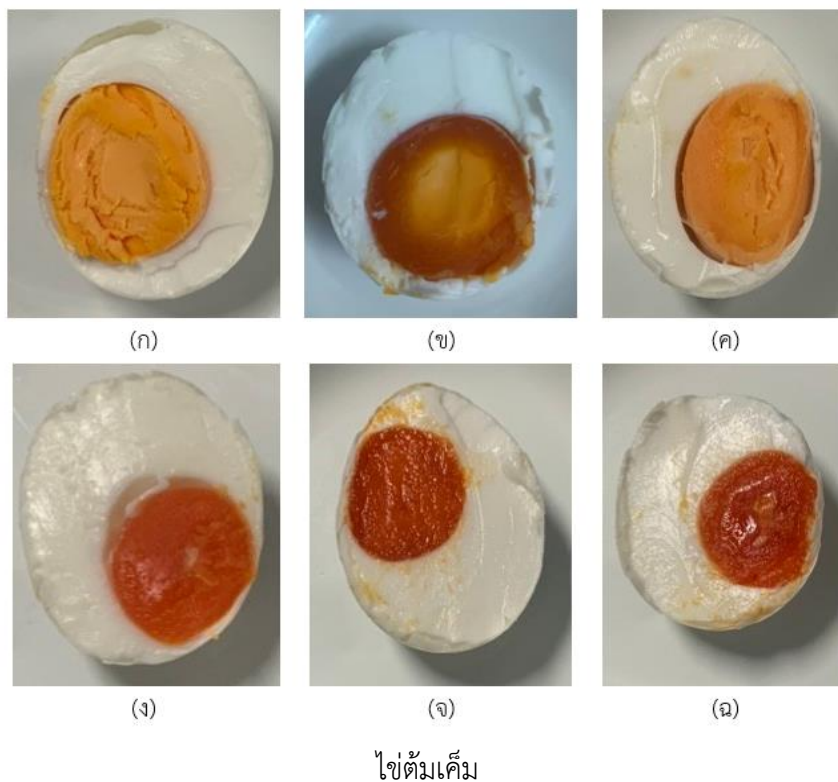
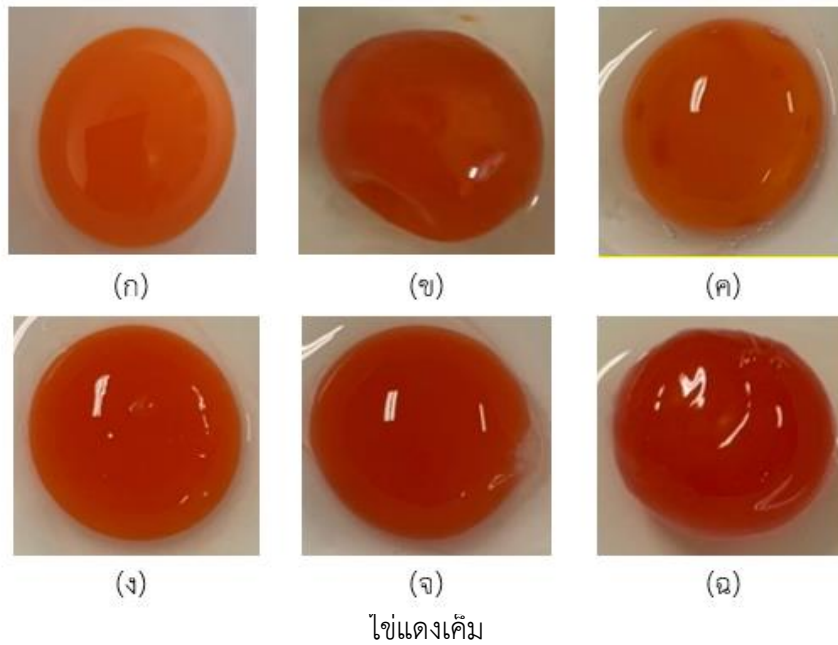
ภาพ 4.1 และ 4.3 แสดงค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลืองของไข่เค็มที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมทั้ง 5 สัดส่วน พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปค่าความสว่าง (L^* value) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^* -value) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเวลาเกลือเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นและปริมาณเกลือลดลงสำหรับทั้งไข่ขาวเค็มและไข่แดงปรุงสุก การซึมของน้ำมันของไข่แดงสุกและปริมาณน้ำที่แสดงออกมาของไข่ขาวปรุงสุกที่ได้จากการดองเกลือ จะได้น้ำมันที่ไหลออกมาพร้อมกับเม็ดสีที่ละลายได้ โดยเฉพาะที่ชั้นนอกของไข่แดง ที่สัปดาห์ที่ 3 ของการดองเกลือ ไข่แดง เมื่อเวลาเกลือเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปจะพบความแข็ง ความสปริงตัว ความเหนียว ความเคี้ยว และความยืดหยุ่นที่ลดลง โดยมีความเหนียวแน่นและเหนียวแน่นมากขึ้นในไข่ขาวเค็มปรุงสุก ความแข็งของไข่แดงสุกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและถึงค่าสูงสุด เม็ดไข่แดงที่มีขนาดเล็กกว่าและมีการปล่อยไขมันอิสระในไข่เค็มมากขึ้นหลังการให้ความร้อน เมื่อเทียบกับเม็ดไข่แดงที่สดใหม่ พบว่าเจลของไข่ขาวเค็มปรุงสุกเป็นแบบจับตัวเป็นก้อนและมีช่องว่างขนาดใหญ่ วิธีการใส่เกลือจะพิจารณาการซึมของน้ำมันในไข่แดงและลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลไข่ขาวหลังการปรุงอาหาร อย่างไรก็ตามคุณลักษณะเหล่านั้นยังถูกควบคุมโดยเวลาเกลือด้วย อย่างไรก็ตามค่าความเป็นสีเหลือง (b^* -value) ของการดองด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) มีค่ามากกว่าไข่เค็มที่ดองด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) อย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าแดง-เขียว (a^* -value) ไม่มีความแตกต่างกัน



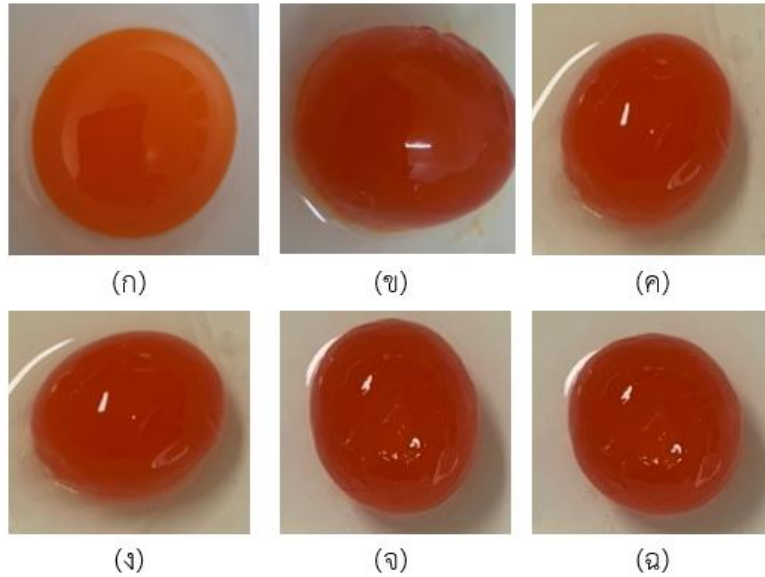
ภาพ 4.4 ลักษณะปรากฏของไข่แดงเปิดที่ผ่านการคองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และ โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 7 วัน (ก) ไข่เปิดสด (ข) ไข่เปิดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (100:0) (ค) ไข่เปิดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ง) ไข่เปิดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (50:50) (จ) ไข่เปิดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ฉ) ไข่เปิดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (0:100)



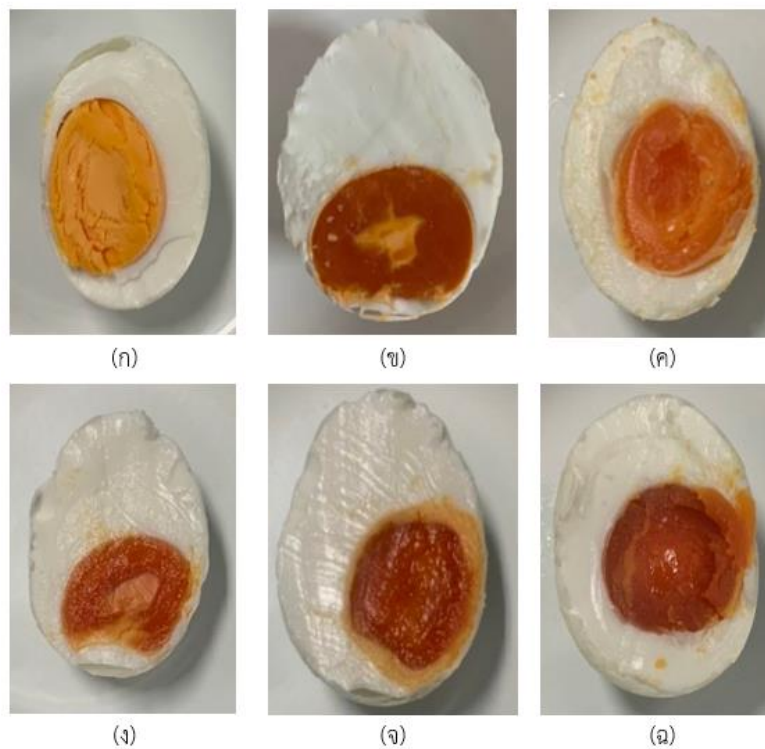
ภาพ 4.5 ภาพถ่ายปรากฏ ไข่เป็ดที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และ โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 14 วัน (ก) ไข่เป็ดสด (ข) ไข่เป็ดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (100:0) (ค) ไข่เป็ดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ง) ไข่เป็ดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (50:50) (จ) ไข่เป็ดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ฉ) ไข่เป็ดที่ต้องสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (0:100)



ภาพ 4.6 ภาพถ่ายปรากฏ ไข่เป็ดที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และ โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 21 วัน (ก) ไข่เป็ดสด (ข) ไข่เป็ดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (100:0) (ค) ไข่เป็ดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ง) ไข่เป็ดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (50:50) (จ) ไข่เป็ดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ฉ) ไข่เป็ดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (0:100)



ไข่แดงเค็ม



ไข่ต้มเค็ม

ภาพ 4.7 ภาพถ่ายปรากฏ ไข่เปิดที่ผ่านการดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และ โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วัน (ก) ไข่เปิดสด (ข) ไข่เปิดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (100:0) (ค) ไข่เปิดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ง) ไข่เปิดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (50:50) (จ) ไข่เปิดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (75:25) (ฉ) ไข่เปิดที่ดองสารละลายเกลือผสมในอัตราส่วน (0:100)

4.2 การศึกษาผลการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก

นำไข่เป็ดสดที่ผ่านการทำความสะอาด และแช่ในสารละลายกรดน้ำส้ม (รายละเอียดตาม 3.2) มาบรรจุใส่ตะแกรงสแตนเลส และเติมสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ตามผลการศึกษา 3.3 หรือนั้นให้ความร้อนกับสารละลายเกลือผสมอิ่มตัว ตรวจวัดค่าความเค็มด้วย Salinity Refractometer รอให้สารละลายเย็นตัว เติมสารละลายเกลือผสมโดยไข่เป็ดจำนวน 30 ฟอง ต่อสารละลายเกลือผสม 10 ลิตร นำไปบรรจุในเครื่องเร่งการดองเกลือด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกโดยเติมลมเข้าถังสแตนเลสโดยปั๊มลมเติมลมเข้าถังตลอดเวลา ตั้งค่า safety valve ที่ความดัน 1.0 บาร์ตลอดการดองไข่เค็มเป็นเวลา 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 4.8 การทดสอบเร่งการดองไข่เค็มด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก

(ก) นำไข่และสารละลายเกลือผสมใส่ลงถัง (ข) ปิดฝาถังให้สนิทแล้วขันน็อตให้แน่น

(ค) ต่อท่ออากาศ (ง) เปิดเครื่องปั๊มลมไฟฟ้า



(ก)



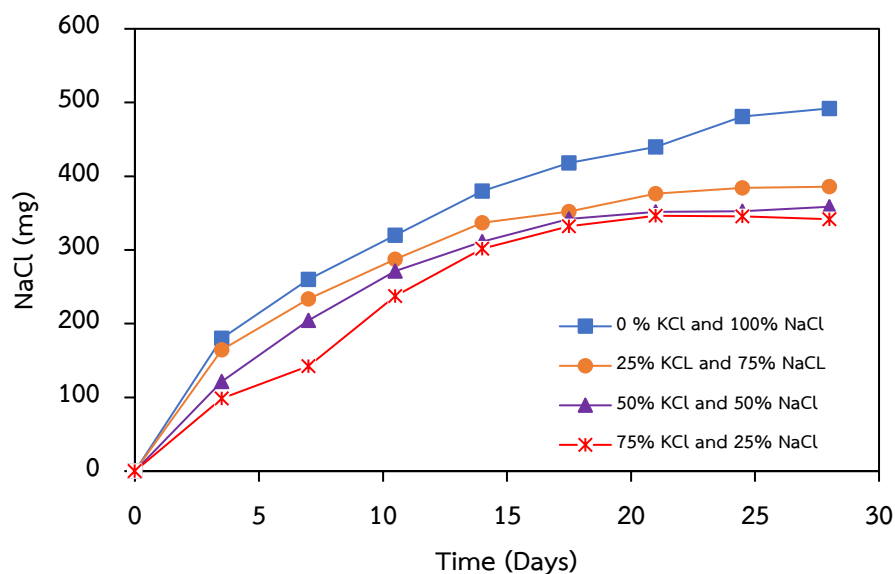
(ข)

ภาพ 4.9 การเติมอากาศอัด และตั้งค่า safety valve

(ก) เช็กความผิดปกติของวาล์วอัดอากาศ (ข) ตั้งค่า safety valve ที่ 1.0 บาร์

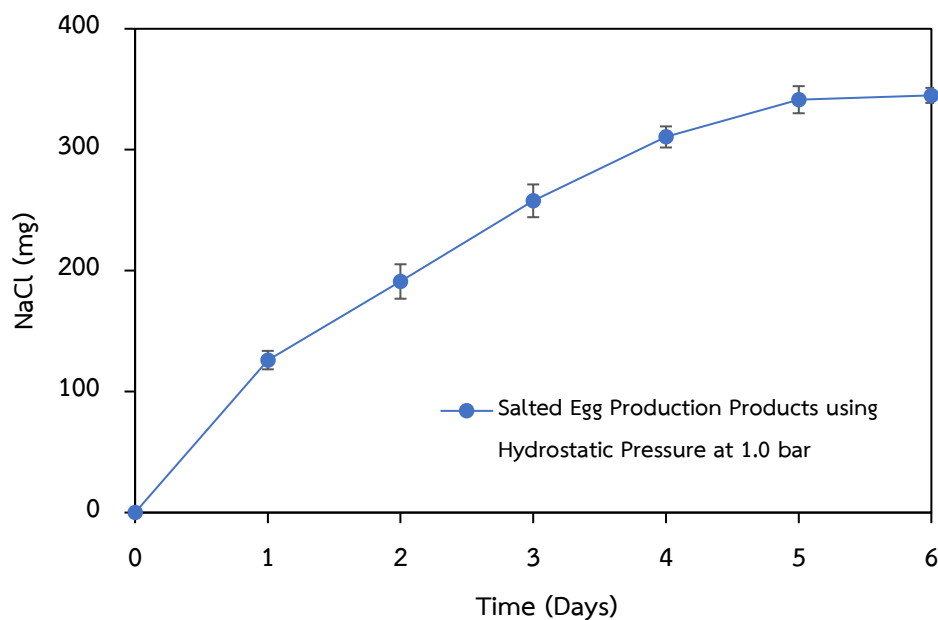
4.3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพไข่เค็ม ระหว่างการดองเกลือและการใช้แรงดันไฮโดรสแตติก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ในไข่แดงที่ผ่านกระบวนการดองด้วยสารละลายเกลือผสม โดยน้ำหนักไข่เฉลี่ย เท่ากับ 60 กรัม ตรวจพบปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ในตัวอย่างควบคุม (ดองด้วยปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 100 เปอร์เซ็นต์) พบว่ามีปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 492.0 มิลลิกรัม ต่อฟอง ในขณะที่ผลการตรวจปริมาณโซเดียมคลอไรด์ของไข่แดงที่ดองด้วยสารละลายเกลือผสม มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 385.8, 358.6 และ 341.8 มิลลิกรัม ต่อฟอง ของสารละลายเกลือผสมเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ และโซเดียมคลอไรด์ที่ 75 ต่อ 25, 50 ต่อ 50, 25 ต่อ 75 และ 0 ต่อ 100 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนักตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ลดลงเท่ากับ 21.58, 27.11 และ 30.52 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก ในช่วงสัดส่วนเกลือ 75 ต่อ 25 เป็น 50 ต่อ 50 พบว่าปริมาณโซเดียมลดลง 5.53 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเพิ่มปริมาณเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก ในช่วงสัดส่วนเกลือ 50 ต่อ 50 เป็น 75 ต่อ 25 พบว่าพบว่ามีปริมาณโซเดียมลดลง 3.41 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสภาวะสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการแปรรูปไข่เค็ม ควรเป็นสัดส่วนสารละลายเกลือผสมโซเดียมคลอไรด์ และเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ 50 ต่อ 50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีความเหมาะสมในการลดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ สอดคล้องการทดสอบลักษณะปรากฏ (สี กลิ่น รสชาติ) พบว่า ไข่เค็มที่ดองด้วยสารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ 50 ต่อ 50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 7.2 โดยภาพที่ 4.10 แสดงปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่แดง 1 กรัม ที่ดองด้วยสารละลายเกลือผสม ที่สัดส่วนต่างๆ ภายใต้ดันบรรยากาศ



ภาพ 4.10 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่แดง 1 กรัม ที่ดองด้วยสารละลายเกลือผสม ที่สัดส่วนต่างๆ ภายใต้ความดันบรรยากาศ

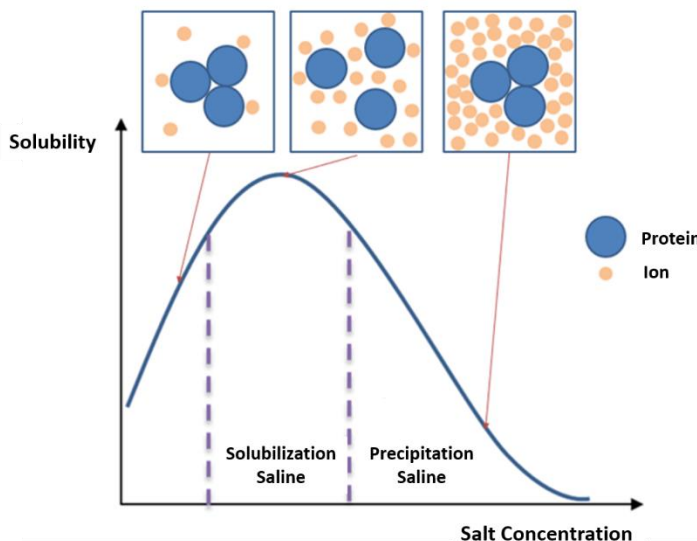
การใช้สารละลายเกลือผสมระหว่างเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ 50 ต่อ 50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนักน้ำมาการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกที่ความดัน 1.0 บาร์ จากนั้นตรวจสอบปริมาณโซเดียม โดยเก็บข้อมูลทุก 24 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่แดง 1 กรัม ที่ต้องด้วยสารละลายเกลือผสมภายใต้ความดันไฮโดรสแตติก ที่ 1.0 บาร์ แสดงในภาพที่ 4.11 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป เกลือผสมเกิดถ่ายเทมวลเกลือเข้าไปสู่เนื้อเยื่อไข่ขาว และไข่แดง เกิดปรากฏการณ์ “salting out” เช่นเดียวกับการดองสารละลายเกลือที่ความดันบรรยากาศปกติ แต่สามารถลดเวลาในการถ่ายเทมวลเกลือได้เท่ากับ 833 เท่า โดยความดันไฮโดรสแตติก ที่ 1.0 บาร์ เร่งกระบวนการออสโมตริกโมเลกุลเกลือเข้าสู่เนื้อเยื่อไข่ โดยมีรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทโมเลกุลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ในเทอมของ Na (mg) = $-0.067t^2 + 9.5461t + 6.4357$ ($R^2 = 0.9966$) โดยกระบวนการออสโมตริกโมเลกุลเกลือเข้าสู่เนื้อเยื่อไข่จะอิ่มตัวที่เวลา 120 ชั่วโมง โดยมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 341.2 มิลลิกรัม ต่อฟอง



ภาพ 4.11 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่แดง 1 กรัม ที่ต้องด้วยสารละลายเกลือผสมภายใต้ความดันไฮโดรสแตติก ที่ 1.0 บาร์

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของโปรตีนบริสุทธิ์ในไข่แดง เมื่อเกิดการถ่ายเทมวลเกลือผ่านเนื้อเยื่อและชั้นของไข่ขาว เกิดการแยกโปรตีนคือการตกตะกอน กระบวนการนี้เรียกว่า Salting in หรือ Salting out (ภาพ 4.12) โดยการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกช่วยให้ปริมาณเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์เข้าสู่ไข่แดงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และรวบรวมเศษส่วนต่างๆ ของโปรตีนที่ตกตะกอนเป็นไขมัน เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์มักใช้เนื่องจากละลายในน้ำได้สูง

มีความเป็นอิสระจากผลกระทบของอุณหภูมิ และโดยทั่วไปไม่เป็นอันตรายต่อโปรตีนส่วนใหญ่ ในระหว่างกระบวนการถ่ายเทมวลของเกลือโดยใช้แรงดันไฮโดรสแตติก โมเลกุลของเกลือจะเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีนโดยการลดปฏิกิริยาระหว่างไฟฟ้าสถิตระหว่างโมเลกุลโปรตีน เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและโปรตีนจะมีความกระตือรือร้นมากกว่าปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับตัวทำละลาย และโปรตีนจะตกตะกอนจากสารละลาย



ภาพ 4.12 กระบวนการ Salting in และ Salting out

ที่มา: Chapter 3: Investigating Proteins - Chemistry (wou.edu)

การลดการละลายในน้ำของโปรตีน ด้วยการใช้เกลือที่มีความเข้มข้นสูง เป็นวิธีการแยกโปรตีนออกจากสารละลาย เนื่องจากในสภาวะธรรมชาติ โปรตีนจะละลายอยู่ในน้ำ โดยสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ โมเลกุลของโปรตีนส่วนที่ชอบน้ำจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ แต่เมื่อเติมเกลือความเข้มข้นสูง เช่น โซเดียมคลอไรด์ หรือ แอมโมเนียมซัลเฟต เกลือจะแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ และมีแรงดึงดูดโมเลกุลของน้ำมากกว่าโมเลกุลของน้ำ ก็จะเข้ามาล้อมรอบโมเลกุลของเกลือ แทนโมเลกุลของโปรตีน จึงทำให้โปรตีนแยกตัวออกจากน้ำ และตกตะกอนออกมา ซึ่งเป็นการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Protein denaturation) อย่างหนึ่ง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงการ

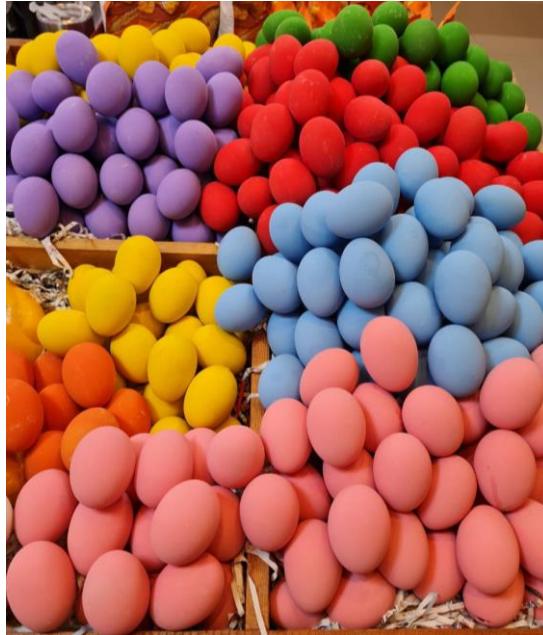
การดำเนินโครงการวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร ได้แบ่งการศึกษาผลกระทบสัดส่วนของเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) โดยศึกษาที่ 5 ระดับของสัดส่วนของเกลือผสม ได้แก่ 100 ต่อ 0, 75 ต่อ 25, 50 ต่อ 50, 25 ต่อ 75 และ 0 ต่อ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนักต่อสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี CIE-L*a*b* และวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยเทคนิคความแตกต่างโดยรวมทั้งหมด (Overall difference tests) เพื่อหาสัดส่วนของเกลือผสมที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าค่าความสว่าง (L*-value) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*-value) ลดลงเมื่อเวลาในการดองนานขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*-value) มีค่ามากขึ้น โดยลักษณะปรากฏของไข่เค็มจะมีลักษณะที่มีสีแดงมากขึ้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสมาชิก พบว่า ไข่เค็มที่ดองด้วยสารละลายเกลือผสมในสัดส่วน ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 น้ำหนักต่อน้ำหนักมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด และมีสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี CIE-L*a*b* เท่ากับ 68.5, 20.6 และ 48.1 ตามลำดับ

การพัฒนาเครื่องเร่งการดองเกลือ โดยหลักการการใช้แรงดันไฮโดรสแตติกแบ่งเป็นการออกแบบถังแรงดันสูง โดยการคำนวณและการออกแบบถัง Pressure vessel สำหรับแปรรูปไข่เค็มครั้งละ 200-250 ฟอง โดยทดสอบความดันไฮโดรสแตติกที่ความดัน 1.0 บาร์ โดยทดสอบไข่เป็ด 30 ฟอง ต่อสารละลายเกลือผสมอิมัลชัน ปริมาณ 10 ลิตร การผลิตไข่เค็มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกสามารถช่วยลดเวลาในการผลิตไข่เค็ม เหลือเพียง 120 ชั่วโมง เร็วกว่าวิธีแบบดั้งเดิมเท่ากับ 14 เท่า และมีค่าสีในระบบ CIE-La*b* เท่ากับ 48.51 ± 1.63 , 19.26 ± 1.64 และ 40.17 ± 2.53 ตามลำดับ และการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 382.21 ± 12.64 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการวิศวกรรมนี้ มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยสารทดแทนเกลือโพแทสเซียมโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกเพื่อเร่งการการออสโมซิสเข้าสู่เนื้ออาหาร เป็นนวัตกรรมเกษตรแปรรูปที่สามารถลดเวลา และปริมาณการใช้เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยแบ่งเป็นการพัฒนาระบบการแปรรูปไข่เค็มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก และการเปรียบเทียบคุณภาพของไข่เค็มแบบปกติ (ตัวแปรรวม) และไข่เค็มใช้ความดันไฮโดรสแตติก ควรมีการเพิ่มเติมการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมการผลิตไข่เค็มของการพัฒนากระบวนการแปรรูปไข่เค็มโซเดียมต่ำด้วยการโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก

ควรรำนานวัตกรรมใช้ความดันไฮโดรสแตติก ในการพัฒนาสูตรไข่เค็มโซเดียมต่ำ ที่เพิ่มเติมการดองด้วยสารละลายจากสมุนไพร เช่น การพัฒนาสูตรไข่เค็มโซเดียมต่ำผสมสารสกัดจากใบเตยหอม, สูตรไข่เค็มโซเดียมต่ำผสมสารสกัดจากขมิ้นชัน, สูตรไข่เค็มโซเดียมต่ำผสมสารสกัดจากพรมมิ และสูตรไข่เค็มโซเดียมต่ำผสมสารสกัดจากกระเจี๊ยบ โดยอ้างอิงตำราแพทย์แผนไทย หรือเอกสารทางวิชาการ



ภาพ 5.1 ตัวอย่างไข่เค็มโซเดียมต่ำผสมสารสกัดจากสมุนไพร ด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก

เอกสารอ้างอิง

- Ariviani, S. Fitriasih, N.H. & D. Ishartini. (2017). Development of low sodium salted eggs and its antioxidant potential. *Indonesian Journal of Nutrition and Dietetics* 51-58.
- Asril C. (2020). *How much salted egg yolk is to much*. เข้าถึงได้จาก
<http://www.todayonline.com/lifestyle/food/how-much-salted-egg-yolk-too-much>
- Benjakul, S., & T. Kaewmanee. (2017). Sodium chloride preservation in duck eggs. In *Egg innovations and strategies for improvements* 415-426.
- Cepanec K, & T. Vugrinec. (2017). Potassium chloride-based salt substitutes: A critical review with a focus on the patent literature. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food safety* 881-894.
- Chi S.P. & K. Tseng. (1998). Physicochemical properties of salted pickled yolk from duck and chicken egg. *Journal of Food Science* 63(1), 27-30.
- Hajar S, & M. Metha. (2023). Proximate quality of low-sodium salted egg. *Jurnal Penelitian Pendidikan* 9(10) 7944-7949.
- Harlina, P. W., Hu, M. M., Legowo, A. M., & Y. B. Pramono. (2012). The effect of supplementation garlic oil as an antibacterial activity and salting time on the characteristics of salted egg. *Journal Aplikasi Teknologi Pangan* 1(4): 12-24.
- Jianrong L, L. J., & Y.P. Hsieh. (2004). Traditional Chinese food technology and cuisine. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 13(2) :147-55.
- Kaewmanee, T., Benjakul, S., & W. Visessanguan. (2009). Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting 112(3) 560-569.
- Kaewmanee, T., Benjakul, S., & W. Visessanguan. (2009). Effect of salting processes on chemical composition, textural properties and microstructure of duck egg. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(4), 625-633.
- Kaewmanee, T., Benjakul, S., & W. Visessanguan. (2009). Protein hydrolysate of salted duck egg white as a substitute of phosphate and its effect on quality of Pacific white shrimp. *Food Science* 74(8), 51-61.

- Kaewmanee, T., Benjakul, S., & W. Visessanguan. (2011). Effect of salting processes and time on chemical composition, textural properties, and microstructure of cooked duck egg. *Food Science* 7(6), 139-147.
- Kaewmanee, T., Benjakul, S., & W. Visessanguan. (2013). Effect of acetic acid and commercial protease pretreatment on salting and characteristics of salted duck egg. *Bioprocess Thechnology* (5), 1502-1510.
- Kaewmanee, T., Benjakul, S., Visessanguan, W., & C. Gamonpilas. (2013). Effect of sodium chloride and osmotic dehydration on viscoelastic properties and thermal-induced transitions of duck egg yolk. *Food and Bioprocess Technology* 6, 367-376.
- Krunkreangvong, J., Phattharapanyakun, W., Tuitemwong, P., Kaensup, W., Saengdararat, R., & W. Suntornsuk. (2002). Production of salty eggs using hydrostatic pressure. *The proceedings of 40th Kasetsart Annual Conference* 4-7.
- Lai, K. M., Chi, S. P., & W. C. Ko. (1999). Changes in yolk states of duck egg during long-term brining. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(2), 733-736.
- Lian, Z., Qiao, L., Zhu, G., Deng, Y., Qian, B., Yue, J., & Y. Zhao. (2014). Use of sodium dodecyl sulfate pretreatment and 2-stage curing for improved quality of salted duck eggs. *Journal of food science* 79(3), 354-361.
- Novia, D., Melia, S., & I. Juliyarsi. (2014). Utilization of Ash in the Salting Process on Mineral Content Ravv Salted Eggs. *Asian Journal of Poultry Science* 8(1), 1-8.
- Thumthanarak, B., & T. Teerapornkittikul. (2018). Quality of reduced sodium steamed mackerel during chilled storage. *The Journal of Applied Science* 17, 125-139.
- Trongpanich, K., & L. E. Dawson. (1974). Quality and acceptability of brine pickled duck eggs. *Poultry Science* 53(3), 1129-1133.
- Vivek, K., Subbarao, K. V., & B. Srivastava. (2021). Effect of thin-layer drying on the quality parameters of persimmon slices. *International Journal of Fruit Science* 21(1), 587-598.
- Wang, C. T. (1991). The physical-chemical properties of salted egg yolk during granulation or gelation process. *Journal of the Chinese Society of Animal Science* 29, 406-414.

- Wang, S. Q., Wang, S. C., Zhang, Y. P., & R. Zhang. (2013). Research on quick salting duck egg with pulsed pressure and water cycle technology. *Applied Mechanics and Materials* 422, 94-99.
- Wongnen, C., Panpipat, W., Saelee, N., Rawdkuen, S., Grossmann, L., & M. Chaijan. (2023). A Novel Approach for the Production of Mildly Salted Duck Egg Using Ozonized Brine Salting 12(11), 2261.
- World Health Organization. (June 2020). Guideline: Sodium intake for Adults and Children. เข้าถึงได้จาก http://www.who.int/nutrition/guidelines/sodium_intake_printversion.p
- Xiao, G., Wang, L., Yuan, H., & Y. You. (2013). Effect of different factors on the texture properties of salted duck egg white Japanese tofu 13, 38-42.
- Yang, S. C., & K. H. Chen. (2001). The oxidation of cholesterol in the yolk of selective traditional Chinese egg products. *Poultry science* 80(3), 370-375.
- Yuan, L., Zhang, J., Wu, J., Gao, Z., Xie, X., Wang, Z., & X. Wang. (2018). The effect on quality of pickled salted duck eggs using the novel method of pulsed pressure osmotic dehydration. *Journal of food processing and preservation* 42(4), e13581.
- กุลชลี พวงเพชร, โสพิศ คำนวนชัย, เสาวนีย์ ศรีกาญจนารักษ์ และภานุพันธ์ เพิ่มเปี่ยม. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มของกลุ่มอาชีพไข่เค็มใบเตยดินสอพอง ตำบลถนนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี. *วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่* 21(2), 167-183.
- ชมพู ยิ้มโต, สุวรรณ อางหาญ, ณรงค์, พงษ์ศักดิ์ทรงพระนาม, & อรุมา คำแดง. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ, ปทุมธานี. 28.
- ณัฐณา เหล่ากุลติลก, นันทิมา ดำรงวัฒนกุล, มยุรี ชมพู, กาญจนา รัตนธีรวิเชียร และณภาพันท์ โชคอำนวยพร. (2565). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพไข่เค็มพอกขมิ้นทดแทนดินจอมปลวกบางส่วนระหว่างการเก็บรักษา. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร* 16(1), 13-27.
- ธนวิทย์ กุลรัตนรักษ์. (2563). รายงานการวิจัยผลของการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและระยะเวลาในการผลิตไข่เค็ม, มหาวิทยาลัยสุรนารี, เทคโนโลยีอาหาร 4-22.

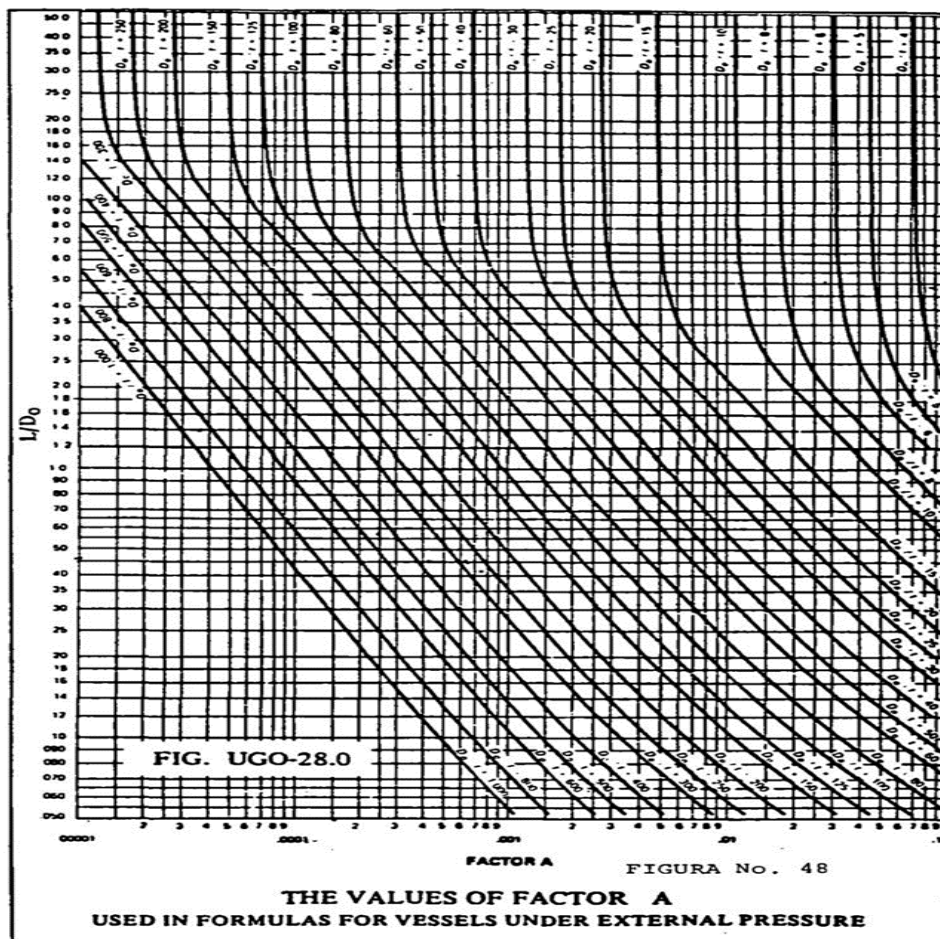
ภาคผนวก ก.

การคำนวณและการออกแบบถัง Pressure vessel

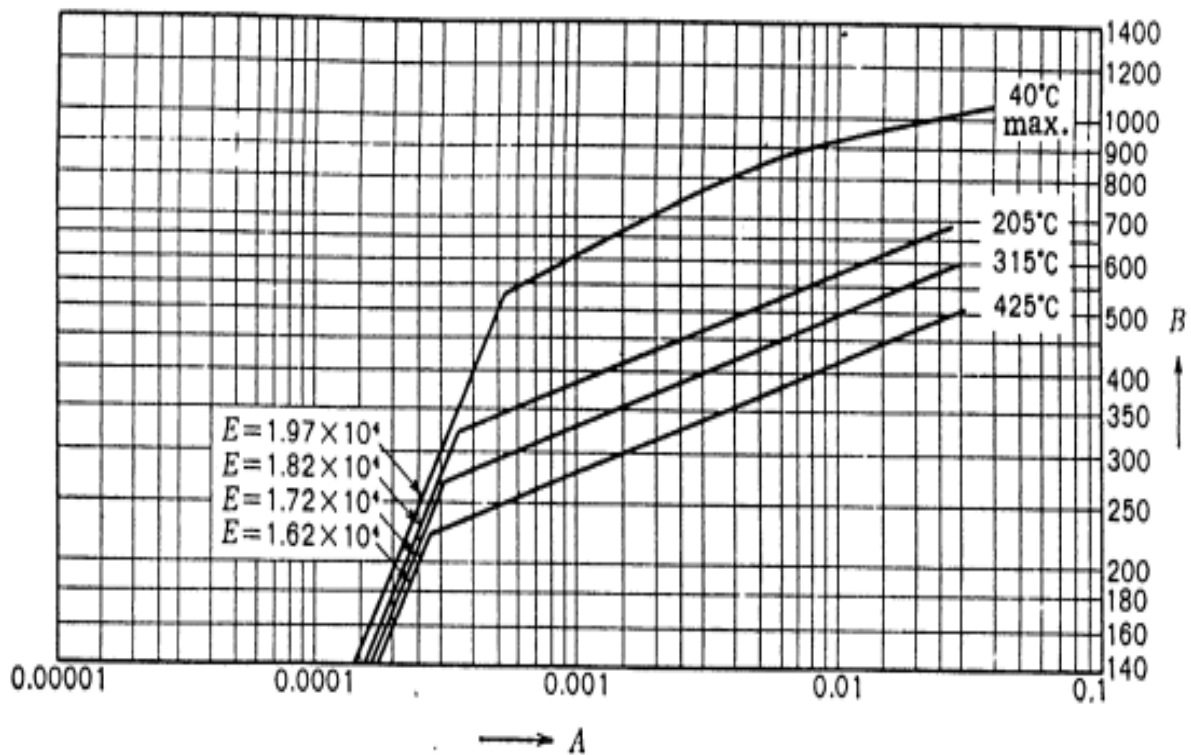
ก.1 การกำหนดขนาดของถัง

ปัจจัยความต้องการหลักที่มีผลกระทบต่อการเลือกและออกแบบคือ ความปลอดภัยและประหยัดซึ่งโดยทั่วไปถังรับแรงดันจะได้รับการออกแบบให้สามารถทนสภาวะที่รุนแรงที่สุดที่เกิดขึ้นผสมผสานกันของความดันใช้งานและอุณหภูมิใช้งานที่คาดไว้ได้

ในการออกแบบถังรับแรงดัน การหาความแข็งแรงของถังจะพิจารณาภาระแรงกระทำ รวมถึงการกระเพื่อมหรือการขึ้นลงอย่างรวดเร็วของความดัน (fluctuation) น้ำหนักของถังและของที่บรรจุ ภาระแรงที่เพิ่มเข้ามาของอุปกรณ์ต่างๆ วัสดุทนความร้อนที่นำมาหุ้มถัง ระบบท่อ ฯลฯ และผลกระทบทางความร้อนในสภาวะใช้งาน (หากต้องการ) เพิ่มเข้ามานอกเหนือจากถังความดันภายในหรือความดันภายนอกที่กระทำต่อถัง รวมทั้งอาจพิจารณาถึงวัสดุที่สามารถหามาใช้งานและความต้านทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุประกอบด้วย



ภาพที่ ก1 ค่าของตัวประกอบ A สำหรับใช้ในสูตรคำนวณถังภายใต้แรงดันภายนอก



ภาพที่ ก.2 ค่าของตัวประกอบ B สำหรับใช้ในสูตรสำหรับถังภายใต้แรงดันภายนอก

ก.2 การออกแบบความหนาผนังถัง

$$P_a = \frac{4B}{3D_0/t} \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ P_a คือความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด (kg/cm^2) D_0 คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกถัง (mm), t คือความหนาที่ต้องการน้อยที่สุด (mm), L คือระยะที่ลึกเข้าไป $h/3$ ของความสูงหัวถังจากขอบหัวถังถึงแวนเสริมความแข็งแรง และ/หรือระยะห่างระหว่างแวนเสริมความแข็งแรง (mm.) และ B คือค่าตัวประกอบ B

ก.3 การออกแบบความหนาฝาถัง

$$A = \frac{0.125}{R_0/t} \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อ A คือค่าตัวประกอบ A (ภาพที่ ก.1), R_0 คือ รัศมีภายนอกของฝาถัง และ t คือความหนาที่ต้องการน้อยที่สุด

$$P_a = \frac{B}{R_0/t} \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ P_a คือความดันทำงานที่ได้สูงสุด (kg/cm^2), B คือ ค่าตัวประกอบจาก ภาพที่ ก.2, R_0 คือ รัศมีภายนอกของฝาถัง และ t คือความหนาที่ต้องการน้อยที่สุด

ดังนั้นในการออกแบบความหนาของผนังถัง Pressure vessel และฝาปิดในโครงการวิจัยนี้ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 610 mm. และติดตั้งแหวนเสริมความแข็งแรงจำนวน 1 จุดที่หัวถัง

กำหนดให้ความดันที่ถูกรออกแบบภายนอกมีค่าเท่ากับ 1.055 kg/cm^2 (ความดันบรรยากาศ) และออกแบบถัง Pressure vessel มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 610 mm. ความสูงของหัวถัง ($D_0/4$) มีค่าเท่ากับ 700 mm.

การออกแบบถัง Pressure vessel ดังกล่าวนี้ออกแบบเป็น 18Cr-8Ni-Mo ชนิด 304L ความหนาเท่ากับ 3 mm. ดังนั้น

$$\frac{L}{D_0} = \frac{700}{610} = 1.15$$

$$\frac{D_0}{t} = \frac{610}{3} = 203.33$$

การออกแบบเลือกวัสดุที่ใช้ถัง Pressure vessel เลือกใช้วัสดุเป็น 18Cr-8Ni-Mo ชนิด 304L และมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ $1.82 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ นำค่า L/D_0 และ D_0/t มีค่า 1.15 และ 203.33 ตามลำดับ นำค่าพารามิเตอร์ A และ B จากภาพที่ ก.1 และ ก.2 มีค่าเท่ากับ A มีค่าเท่ากับ 0.0004 และ B มีค่าเท่ากับ 325 ดังนั้นสามารถคำนวณ

ถัง Pressure vessel ที่สร้างขึ้นจากเหล็กกล้าออสเทนนิติก (18Cr-8Ni-Mo, คาร์บอนสูงสุด 0.03 ชนิด 304L) มีค่าความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด (kg/cm^2) ตามสมการ (ก.1)

$$P_a = \frac{4B}{3D_0/t}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อคำนวณค่าความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด (kg/cm^2)

$$P_a = \frac{4(325)}{3(610)/3} = 2.13 \text{ kg/cm}^2$$

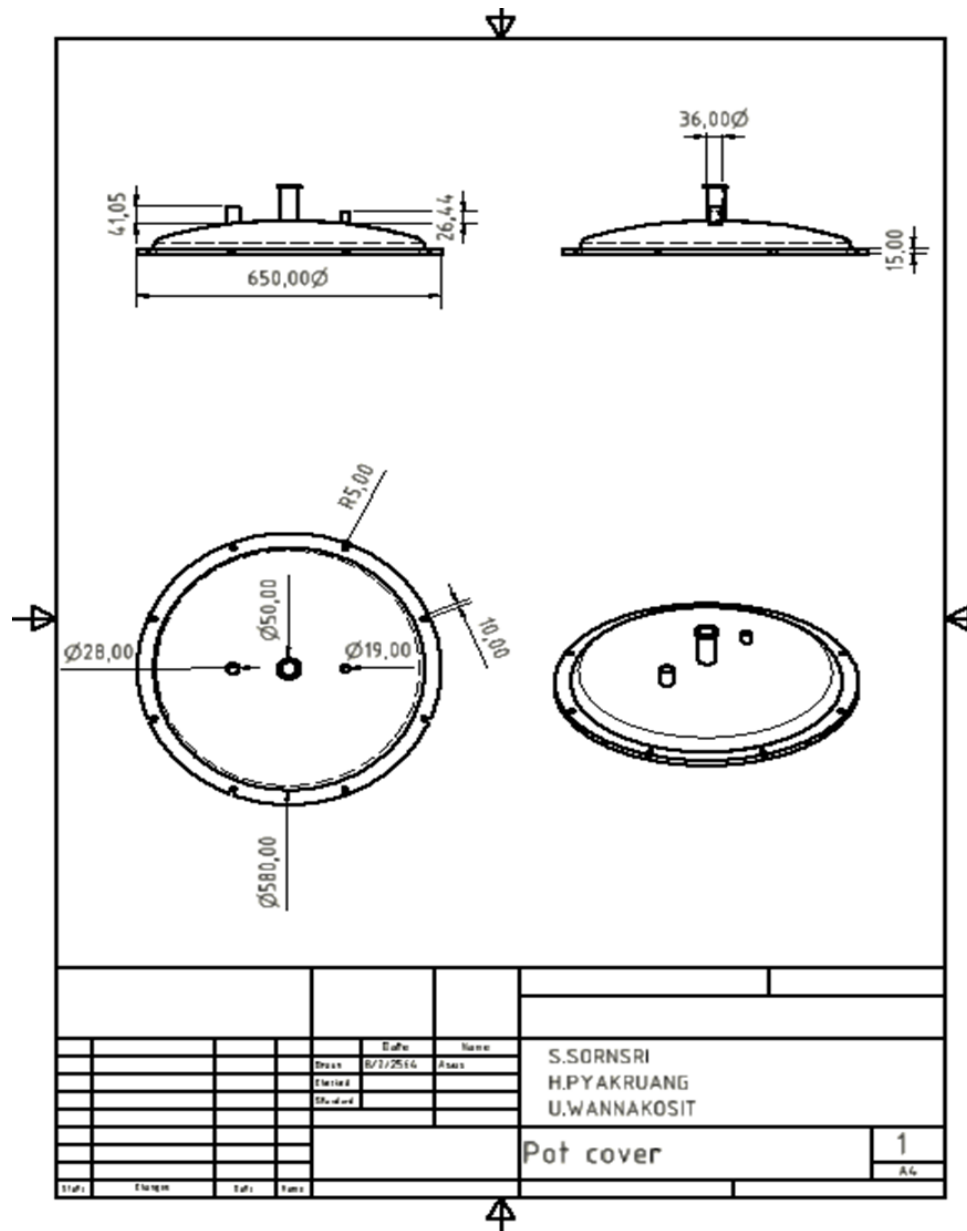
ดังนั้นค่าความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.13 kg/cm^2 มีค่ามากกว่าความดันภายนอกซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.055 kg/cm^2 ดังนั้นขนาดและความหนาที่เลือกใช้ในการออกแบบถัง Pressure vessel มีความเหมาะสม

ภาคผนวก ข.

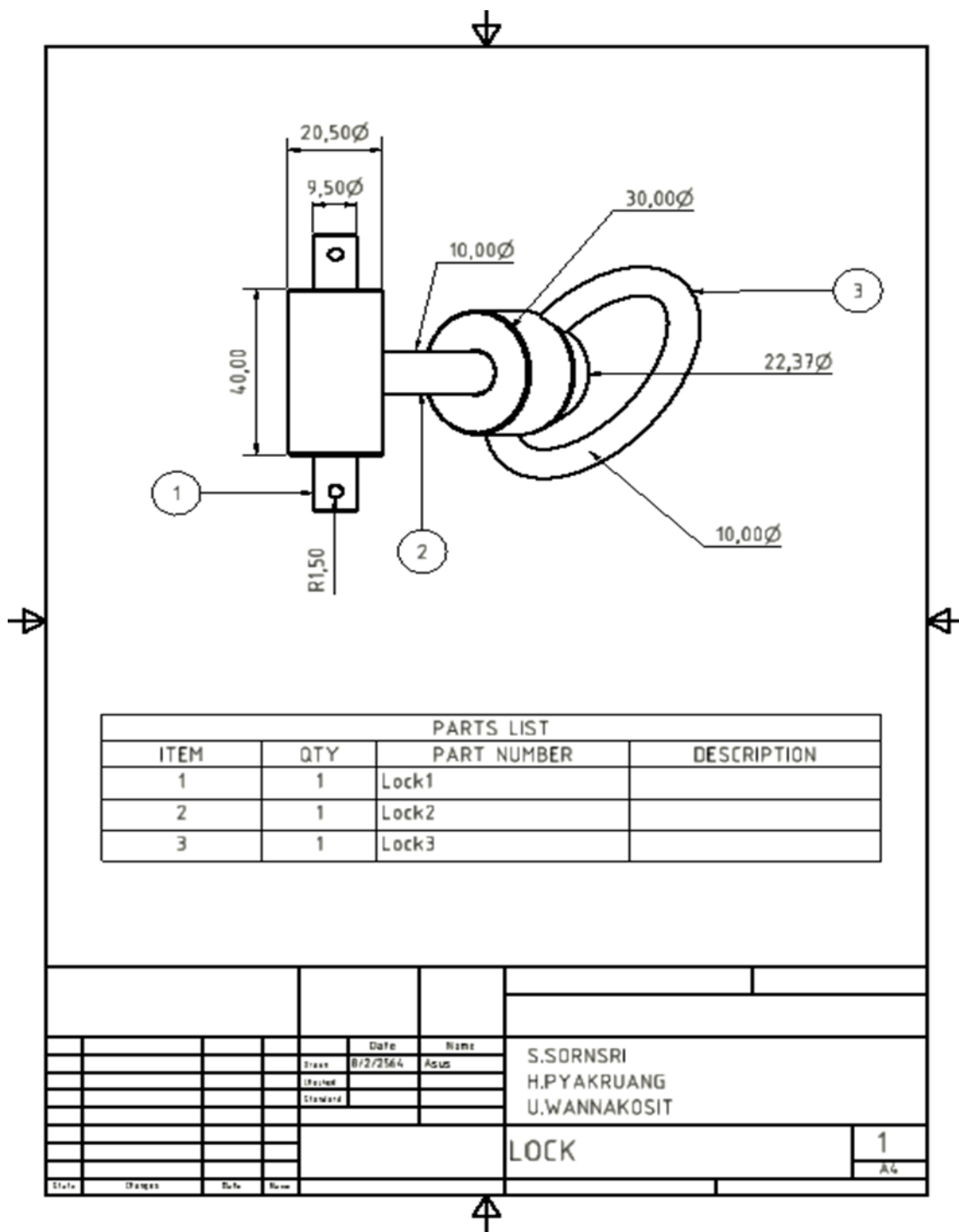
แบบร่างทางวิศวกรรมเครื่องจักรในการเร่งการดองเกลือด้วยถัง
pressure vessel

ข.1 การสร้างต้นแบบและทดสอบ (construct prototype and prototype testing)

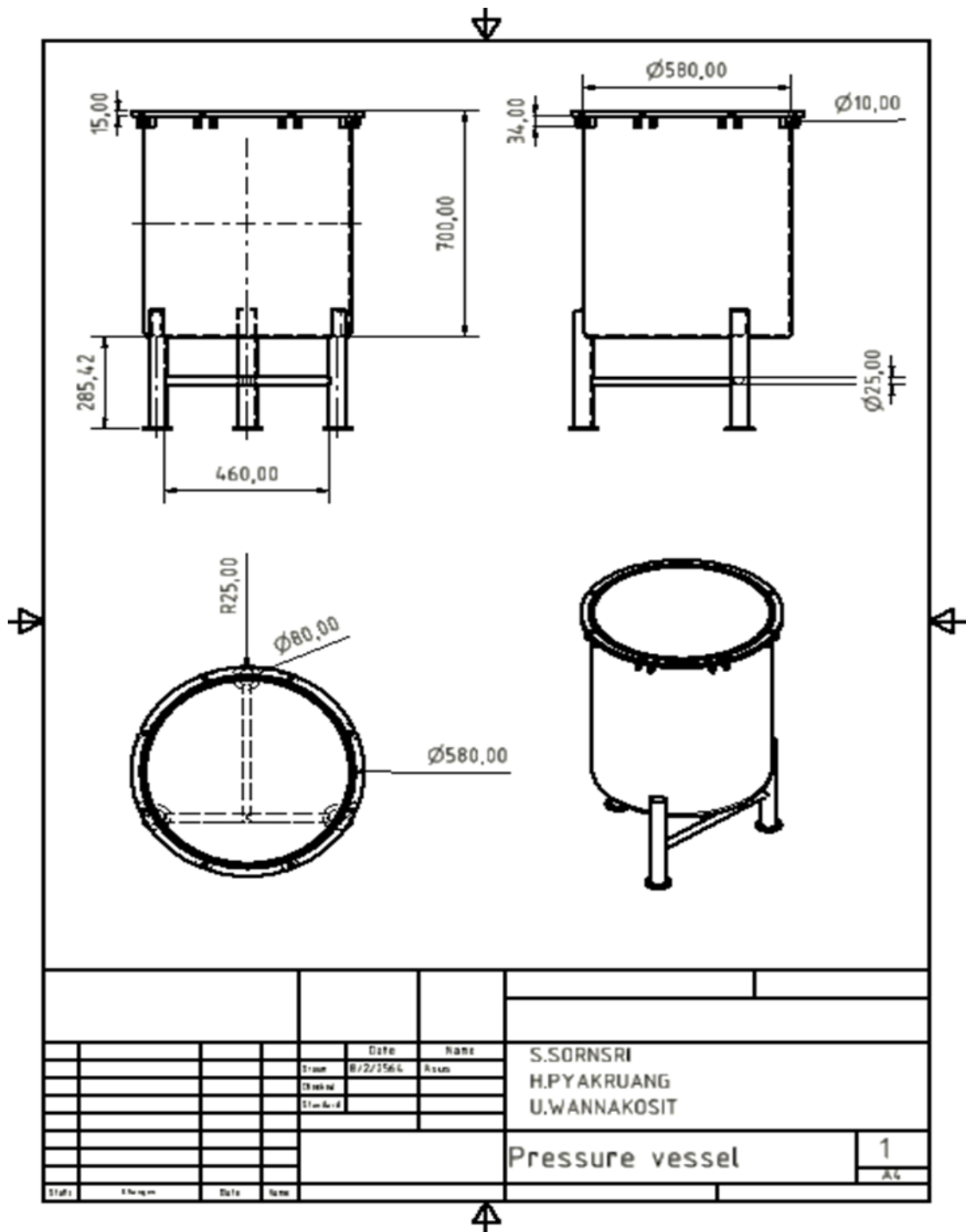
หลังจากที่ดำเนินการออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่าง (embodiment design) นั้นเป็นขั้นตอนต่อจากการที่ได้แบบซึ่งอยู่ในลักษณะแนวคิด และนำมาขยายสู่การออกแบบในรายละเอียด (detail design) เพื่อระบุข้อกำหนด (specification) ของชิ้นงานย่อยต่าง ๆ รวมกับทีมวิศวกร เพื่อให้การผลิตสอดคล้องกับการดำเนินการจริง



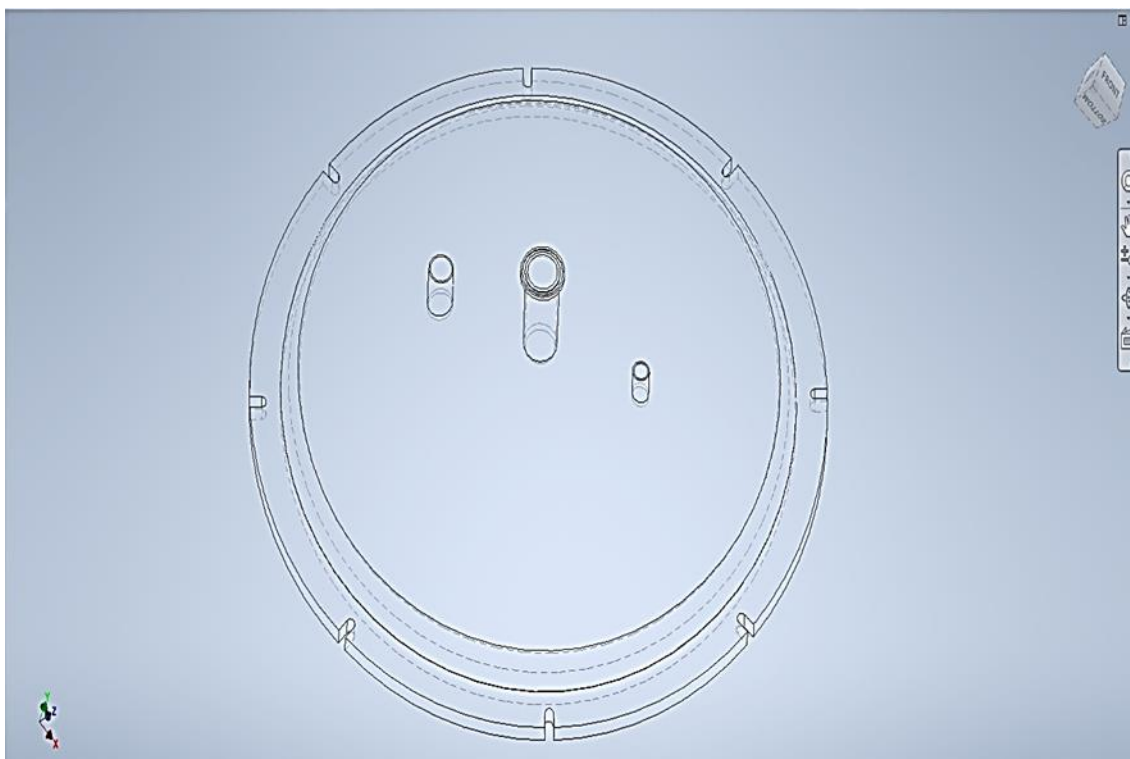
ภาพที่ ข.1 แบบร่างทางวิศวกรรมภาพฉายของฝาถัง pressure vessel



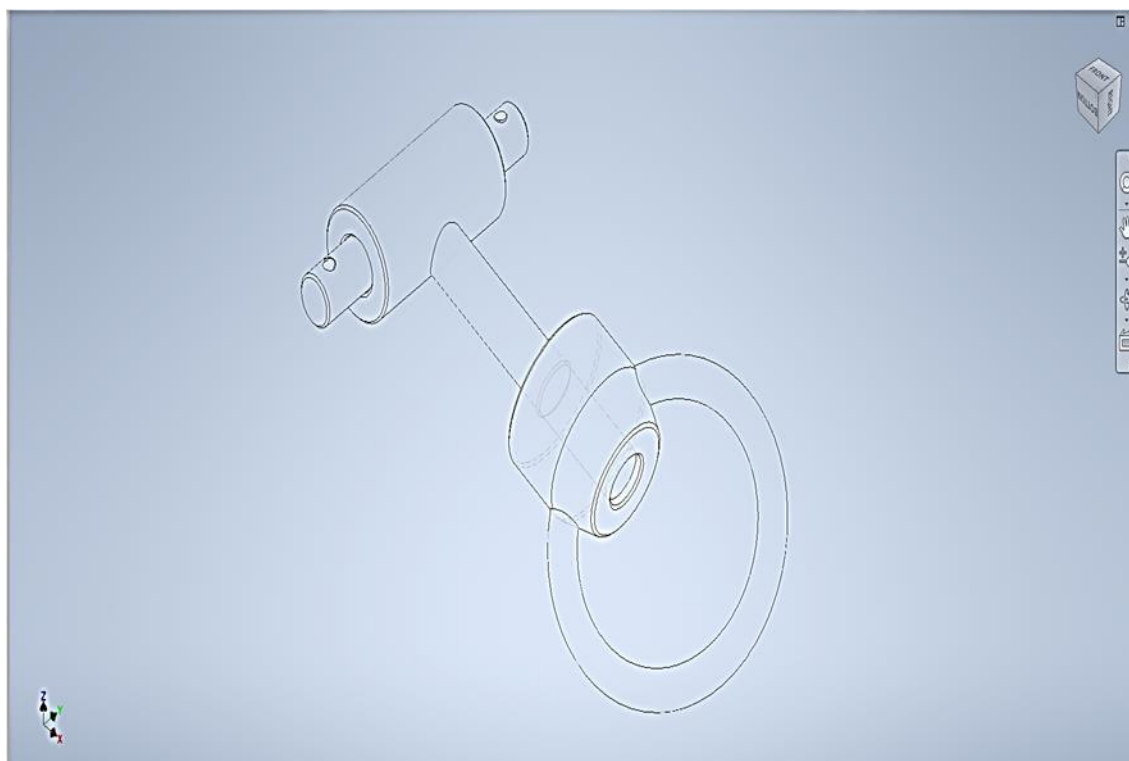
ภาพที่ ข.2 แบบร่างทางวิศวกรรมกายภาพของตัวล็อคระหว่างฝากับตัวถัง



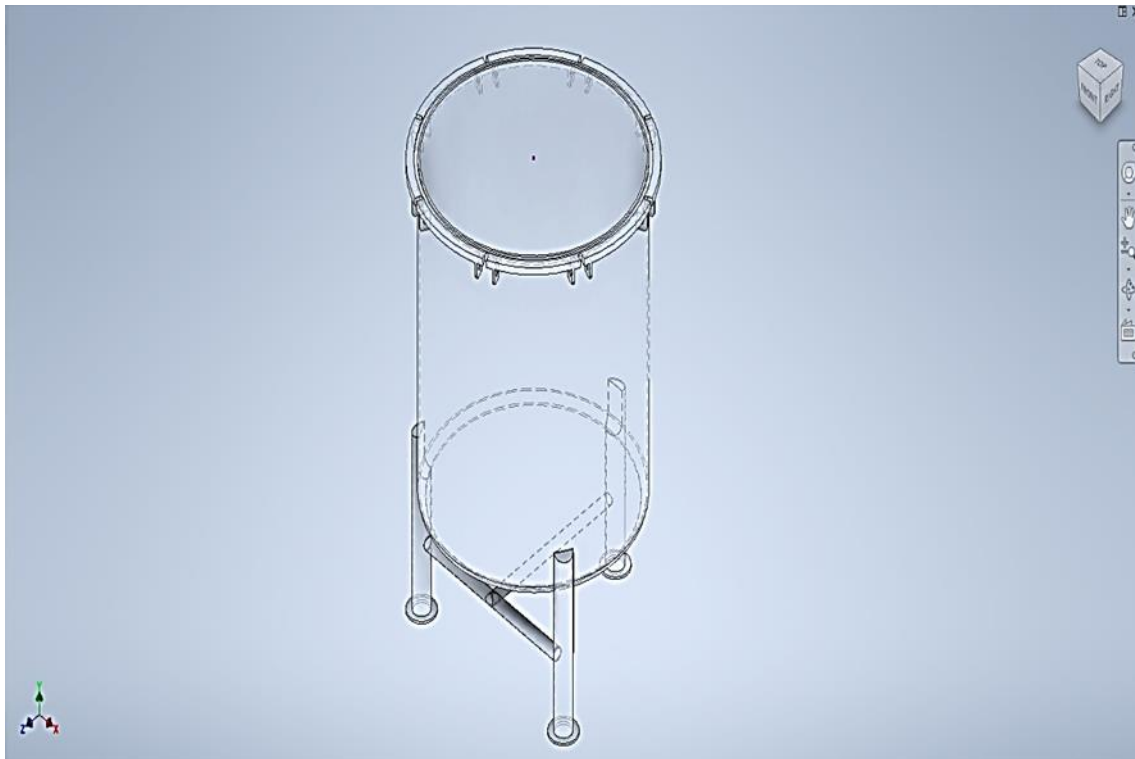
ภาพที่ ข.3 แบบร่างทางวิศวกรรมภาพฉายของตัวถัง pressure vessel



ภาพที่ ข.4 แบบร่างทางวิศวกรรมภาพฉายของฝาถัง Pressure vessel แบบ 3



ภาพที่ ข.5 แบบร่างทางวิศวกรรมกายภาพของตัวล้อระหว่างฟากับหัวถัง แบบ 3D



ภาพที่ ข.6 แบบร่างทางวิศวกรรมภาพฉายของตัวถัง Pressure vessel แบบ 3D

ภาคผนวก ค.

การคำนวณต้นทุนค่าและจุดคุ้มทุน
ในการสร้างเครื่อง pressure vessel

ค.1 การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสร้างเครื่อง pressure vessel

การประเมินรายการผลิตเครื่อง

BoQ ย่อมาจาก Bill of Quantities คือใบแสดงรายการวัสดุ ค่าใช้จ่ายที่จะใช้ในการสร้างเครื่อง โดยแยกวัสดุออกเป็นหน่วยของแต่ละประเภทพร้อมด้วยราคาค่าวัสดุและราคาค่าแรง

ประโยชน์ของ BoQ คือใช้เป็นสื่อในการหาราคากลางสำหรับค่าก่อสร้างเครื่อง ใช้อ้างอิงราคาและประกอบสัญญาในว่าจ้างรับเหมาก่อสร้างเครื่อง ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงราคางานเพิ่ม-งานลดนอกเหนือจากแบบใช้เป็นข้อมูลในการจัดหาปริมาณวัสดุเข้าใช้ในหน่วยงานของผู้รับจ้าง/ผู้รับเหมา และอีกความสำคัญของ BoQ คือใช้เป็นข้อมูลตรวจสอบงานที่ก่อสร้างเครื่องจริงให้เป็นไปตามคุณสมบัติและจำนวนที่ระบุไว้ในแบบ/สัญญาการก่อสร้างเครื่อง ซึ่งการทำ BoQ ให้ได้ปริมาณวัสดุและราคาให้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดยังต้องอาศัยปัจจัยประกอบอีกหลายส่วนการคำนวณ

ตารางที่ ค.1 รายการสั่งผลิตเครื่องอัดแรงดันสูง Pressure vessel

	รายการ	จำนวน	ราคา	รวม
1	แผ่นสแตนเลส SUS 304 ขนาด 4 × 8 ความหนา 2 mm.	1 แผ่น	3800	3800
2	ค่างานผลิตขึ้นรูปเพลทของฝาถังแรงดัน SUS 304 ขนาด D-650 T-11	2Pcs	15,500	31,000
3	ค่างาน ตัด ม้วน ถังแรงดัน	1Job	2200	2200
4	ค่างานขึ้นรูปโค้ง ฝาถังแรงดัน	1 Job	3500	3500
5	ค่างานขึ้นรูปโค้ง กันถังแรงดัน	1 job	800	800
6	ค่างานเชื่อมถังแรงดัน	1 Job	4500	4500
7	ชุดลิ้นคอกฝา M12	8 Set	150	1200
8	ขาตั้งถังแรงดัน ท่อสแตนเลสขนาด 2 ความหนา 1.5 mm.	1 Set	1200	1200
9	สแตนเลสกลม ขนาดความโต 10 mm ความยาว 70 mm.	8 Pcs	450	3600
10	แผ่นเพลทสแตนเลส SUS 304 ขนาด 35 × 35 mm. ความหนา 6 mm.	16 Pcs	250	4000
11	สแตนเลสกลมขนาดความโต 32 mm. ความยาว 35 mm.	8 Pcs	350	2800
12	สแตนเลสกลม ขนาดความโต 8 mm. ความยาว 2 m.	1Pcs	800	800
13	Ball valve 1 SUS 316	1 Pcs	3200	3200
14	Safety valve	1 Pcs	4500	4500
15	Pressure Gauge	1 Pcs	1200	1200
16	Ferrule 2	2 Pcs	750	1500
17	โอริงคอร์ดยางทนแรงดัน ขนาด 10 mm OD-605 ID-595	1 Pcs	2200	2200
			รวม 72,000 บาท	

ภาคผนวก ง.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ไข่เค็ม)

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายปรเมศวร์ แสนคำมูล

รหัสนักศึกษา 6515125036

วัน เดือน ปี เกิด 23 กรกฎาคม 2544

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเชียงใหม่	2564
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเชียงใหม่	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนทุ่งฟ้าบดราษฎร์บำรุง	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดทองฝาย	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 117/1 หมู่ 11

ตำบล บ้านกลาง อำเภอสันป่าตอง

จังหวัด เชียงใหม่

รหัสไปรษณีย์ 50120

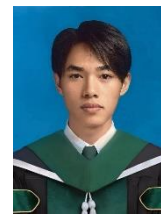
เบอร์โทรศัพท์ : 062 261 7090

Email Address : poramet232544@gmail.com

Facebook : มอ เอ ศอ เมศ

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายศรุต แก้วคำ
รหัสนักศึกษา 6515125054
วัน เดือน ปี เกิด 14 พฤษภาคม 2545
ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเชียงใหม่	2564
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเชียงใหม่	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดกู่คำ(เมธาวิสัยคณาทร)	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดกู่คำ(เมธาวิสัยคณาทร)	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 87/7 หมู่ 7
ตำบล ยุหว่า อำเภอ สันป่าตอง
จังหวัด เชียงใหม่
รหัสไปรษณีย์ 50120

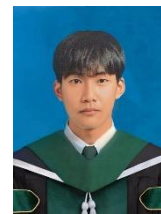
เบอร์โทรศัพท์ : 082 127 0271

Email Address : movdbjf1@gmail.com

Facebook : Sarut

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายพุฒิพงศ์ จ๊ะโด
รหัสนักศึกษา 6515125041
วัน เดือน ปี เกิด 18 กรกฎาคม 2544
ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคโนโลยีพงศ์พระนคร	2564
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคโนโลยีพงศ์พระนคร	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านแม่แฮเหนือ	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านแม่แฮเหนือ	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 3 หมู่ 17
ตำบล แม่่นาจร อำเภอก แม่แจ่ม
จังหวัด เชียงใหม่
รหัสไปรษณีย์ 50270
เบอร์โทรศัพท์ : 061 326 7989
Email Address : wall.manae19988@gmail.com
Facebook : wall.jado

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นางสาวธิดารัตน์ คำฟู

รหัสนักศึกษา 6515125029

วัน เดือน ปี เกิด 29 มกราคม 2544

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุโขทัย	2564
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงเรียนชัยมงคลพิทยา	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนชัยมงคลพิทยา	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเขาทอง	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 226/2 หมู่ 2

ตำบล บ้านใหม่ไชยมงคล อำเภอ พังเสียม

จังหวัด สุโขทัย

รหัสไปรษณีย์ 64230

เบอร์โทรศัพท์ : 065 445 0870

Email Address : Maythidarat2018@gmail.com

Facebook : เมย์

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นางสาวกนกมล ตามา

รหัสนักศึกษา 6515125006

วัน เดือน ปี เกิด 31 ตุลาคม 2544

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุโขทัย	2564
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงเรียนนาหมื่นพิทยาคม	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนนาหมื่นพิทยาคม	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนชุมชนบ้านบ่อแก้ว	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 71 หมู่ 4

ตำบล บ่อแก้ว อำเภอ นาหมื่น

จังหวัด น่าน

รหัสไปรษณีย์ 55180

เบอร์โทรศัพท์ : 092 323 8149

Email Address : kankamol.tama@gmail.com

Facebook : การ์ตูน