

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## กรรมวิธีการปรับกรดของผักแคะสลักด้วยเครื่องปรับสภาพความเป็นกรด ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

จอมขวัญ สุวรรณรักษ์<sup>1</sup> พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์<sup>2</sup> เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์<sup>1</sup> ศันสนีย์ ทิมทอง<sup>1</sup> อินท์ธิมา หิรัญอุ๋ครวงศ์<sup>1</sup> และ พุดกรอง พันธุ์อุโมงค์<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>2</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>3</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

<sup>1</sup> 168 คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ ถนนศรีอยุธยา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

<sup>2</sup> 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

<sup>3</sup> 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

รับบทความ 9 มกราคม 2563 แก้ไขบทความ 29 กันยายน 2563 ตอรับบทความ 21 ตุลาคม 2563

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการปรับกรดของผักแคะสลักด้วยเครื่องปรับสภาพความเป็นกรด ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ 4 กรรมวิธี ได้แก่ การปรับกรดในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ (กรรมวิธีที่ 1) การปรับกรดในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 10 (กรรมวิธีที่ 2) และ 20 นาที (กรรมวิธีที่ 3) และการปรับกรดในสภาวะสุญญากาศสลับกับสภาวะบรรยากาศปกติ 1 ชั่วโมง (กรรมวิธีที่ 4) โดยใช้เครื่องปรับสภาพความเป็นกรดที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนควบคุมอุณหภูมิในถังดองและถังที่เป็นตัวกลางนำความร้อน และส่วนควบคุมความดันภายในถังดองให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศ ทำการควบคุมอุณหภูมิและความดันในระหว่างกระบวนการปรับกรดให้คงที่ที่ 40 องศาเซลเซียส และ 0.5 bar ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรม PLC (Programmable Logic Controller) เขียนแลตเตอร์ควบคุมกระบวนการทั้งหมดและแสดงผลในระบบสกาดา (SCADA) ผลการศึกษาพบว่า การปรับกรดในสภาวะปกติที่ความดันบรรยากาศใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลนานกว่าการปรับกรดในสภาวะสุญญากาศทุกกรรมวิธี โดยกรรมวิธีการปรับกรดในสภาวะสุญญากาศ 1 ชั่วโมง สลับกับสภาวะบรรยากาศปกติ 1 ชั่วโมง เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลสั้นที่สุด คือ 7 ชั่วโมง ภายหลังจากการปรับกรดทำการบรรจุผักแคะสลักลงในขวดแก้วพร้อมน้ำดอง ปิดฝาและนำไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia Coli* และยีสต์รา มีจำนวนไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข และตรวจไม่พบ *Staphylococcus aureus* ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

**คำสำคัญ :** เครื่องปรับสภาพความเป็นกรด; สภาวะสุญญากาศ; ผักแคะสลัก; การดอง

\* ผู้มีพันธประสานงานโทร: +668 9430 5499, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: putkrong.p@mail.rmutk.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## Acidification Processes of Carving Vegetable Using Acid Conditioning Machine Under Temperature and Pressure Control

Jomkhwun Suwannarak<sup>1</sup> Pimpen Pornchalermphong<sup>2</sup> Jetniphat Bunyasawat<sup>1</sup>  
Sansanee Thimthong<sup>1</sup> Intheema Hiranaugkarawong<sup>1</sup> and Putkrong Phanumong<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

<sup>3</sup> Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep

<sup>1</sup>168 Sri Ayutthaya Road, Dusit District, Bangkok 10300

<sup>2</sup>1 Soi Chalong Krung 1, Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520

<sup>3</sup>2 Nanglinchi Road, Tungmahamek, Sathorn, Bangkok 10120

---

Received 9 January 2020; Revised 28 September 2020; Accepted 21 October 2020

### Abstract

This research aimed to study the acidification processes of carving vegetable using acid conditioning machine under temperature and pressure control which was developed in this study. Four acidification procedures were done at normal atmospheric pressure (method 1), under vacuum pressure for 10 (method 2) and 20 min (method 3) and vacuum pressure alternating with normal atmospheric pressure for each of 1 hour. There were two main parts of acid conditioning machine including the temperature controller inside the pickle tank and heat conductor tank, and the pressure controller inside the pickle tank. The pickling temperature was stabled at 40°C under the pressure of 0.5 bar. PLC (Programmable Logic Controller) program was used to write the ladder for controlling all processes and display through SCADA system. The results showed that the acidification method by soaking the carved-rose carrot under vacuum pressure alternating with normal atmospheric pressure showed the shortest time to equilibrium by 7 hours. Then, the carved-rose carrot was packed in the glass jar followed by sterilized in boiling water for 15 minutes and stored at room temperature for 7 days. Total bacteria count, *Escherichia coli* and Yeast-mold were not exceeded than the standard limit. *Staphylococcus aureus* was not detected throughout the storage periods.

**Keywords :** Acid Conditioning Machine; Vacuum; Vegetable Carving; Pickling

---

\* Corresponding Author. Tel.: +668 9430 5499, E-mail Address: [putkrong.p@mail.rmutk.ac.th](mailto:putkrong.p@mail.rmutk.ac.th)

## 1. บทนำ

ผักและผลไม้แกะสลักเป็นงานศิลปะด้านอาหารของไทยที่มีค่าและสืบทอดมาอย่างช้านานจนถึงปัจจุบัน และได้กลายเป็นเอกลักษณ์ของอาหารไทยอย่างหนึ่ง ในภาคอุตสาหกรรมบริการอาหารนิยมนำมาตกแต่งบนจานอาหารหรือสถานที่ให้บริการ เนื่องจากผักและผลไม้แกะสลักเป็นเนื้อเยื่อพืชที่มีชีวิตยังมีการหายใจและการผลิตเอทิลีนอยู่ตลอดเวลา สารอาหารสะสมต่างๆ ถูกนำมาใช้ในระหว่างกระบวนการหายใจทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น [1] การนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์จึงทำได้ยาก เพราะเป็นงานฝีมือเฉพาะบุคคล ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ยังอยู่ในวงจำกัด อย่างไรก็ตาม นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ผักแกะสลักเป็นตลาดเฉพาะซึ่งยังมีช่องว่างทางการตลาดอีกมากสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกมาจำหน่าย เพราะผู้บริโภคมีความต้องการสินค้าที่หลากหลายมากขึ้น

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษากระบวนการผลิตผักแกะสลักบรรจุในภาชนะปิดสนิท โดยกระบวนการผลิตแบบการปรับกรดในอาหาร เพื่อช่วยลดระดับความรุนแรงของการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจากระดับสภาวะปลอดเชื้อแบบเชิงการค้า (Commercial Sterilization) ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เหลือแค่ระดับการพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) ซึ่งใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ส่งผลดีต่อคุณภาพอาหารภายหลังการฆ่าเชื้อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพราะการฆ่าเชื้อระดับสภาวะปลอดเชื้อแบบเชิงการค้านั้นจะใช้อุณหภูมิสูงทำให้มีผลต่อคุณภาพอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส โดยเฉพาะอาหารบางอย่างซึ่งไวต่อความร้อน เช่น ผัก ผลไม้ ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยระยะเวลาในการทำให้อถึงจุดพีเอชสมดุล (Equilibrium pH) ของแครอทและผักทองแกะสลักลาย

ดอกกุหลาบต้องใช้เวลานาน 7 วัน ทำให้จำเป็นต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิแช่เย็นเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโคลอสทริเดียมโบทูลินัม (*Clostridium botulinum*) หรือแบคทีเรียก่อโรคอื่นๆ [2]

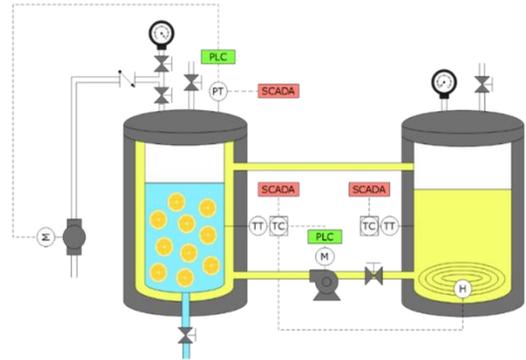
การดองเป็นกรรมวิธีหนึ่งในการถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้นและช่วยปรับปรุงด้านรสชาติของอาหาร โดยอาศัยหลักการออสโมซิส (Osmosis) ทำโดยแช่ผักและผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เช่น สารละลายน้ำตาล สารละลายเกลือ หรือสารละลายผสมของเกลือและน้ำตาล เป็นต้น ในระหว่างการออสโมซิสจะมีการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเซลล์ของผักและผลไม้และสารละลายออสโมติกในลักษณะสวนทางกันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยน้ำภายในเซลล์ของผักและผลไม้จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายออสโมติก และตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติก เช่น น้ำตาล หรือเกลือ จะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผักและผลไม้ นอกจากนี้กรดอินทรีย์และเกลือแร่ต่างๆ ที่อยู่ในเซลล์ผักและผลไม้จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายออสโมติกเช่นกัน การถ่ายเทมวลสารดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลของสารละลายภายในเซลล์และนอกเซลล์ [3] อย่างไรก็ตาม วิธีการดองมาตรฐานนั้นจะต้องใช้ระยะเวลาเพื่อทำให้เกิดภาวะสมดุลระหว่างเนื้อผักหรือผลไม้และน้ำดอง ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ วิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยระบบสุญญากาศเป็นการดึงอากาศออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้แรงดันสุญญากาศ จากนั้นน้ำดองที่เข้าสู่ระบบจะแทรกซึมเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกจากผลิตภัณฑ์ อากาศที่ถูกดึงออกทำให้การดองเป็นไปได้เร็วกว่าวิธีการดองแบบปกติ การเตรียมตัวอย่างสำหรับดองหรือแช่หุ้มด้วยวิธีการสุญญากาศโดยใช้เครื่องทั่วไบนั้นจะควบคุมอุณหภูมิได้ยาก และไม่สามารถที่จะควบคุมคุณภาพขณะที่ทำการดองได้ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องต้นแบบกระบวนการดองระบบสุญญากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อลดระยะเวลา

ในการดองหรือแช่ขี้มและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษากรรมวิธีการปรับกรดของผักแกะสลักที่เหมาะสม โดยใช้เครื่องปรับสภาพความเป็นกรดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผักแกะสลักที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท

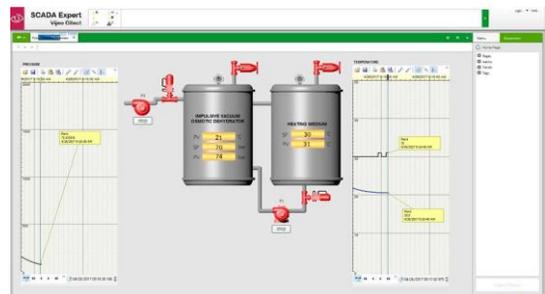
## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 เครื่องปรับสภาพกรดผักแกะสลักภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

เครื่องปรับสภาพกรดผักแกะสลักภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่ได้จากการพัฒนานี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนควบคุมอุณหภูมิ และส่วนควบคุมความดัน การควบคุมอุณหภูมิ (รูปที่ 1) ของกระบวนการจะทำให้อุณหภูมิของถังดองและถังที่เป็นตัวกลางนำความร้อนให้มีค่าคงที่ตลอดการทำงานซึ่งจะเป็นระบบปิด (Closed Loop Control) โดยจะใช้ อุปกรณ์ วัด อุณหภูมิ (Temperature Transmitter ; TT) หรืออาร์ทีดีชนิด PT100 (Platinum ความต้านทาน 100 โอห์ม ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) ทำการวัดอุณหภูมิภายในถังดองและถังที่เป็นตัวกลางนำความร้อน และเป็นส่วนช่วยในการทำ Auto Tuning ค่า Proportional-Integral-Derivative (PID) ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ ซึ่งตัวควบคุมจะส่งสัญญาณไปยังเฟสแองเกิล (Phase Angle) เพื่อเพิ่มลดสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปแบบคลื่นรูปซายน์ในการควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อน นำค่า PID มาประมวลผลและแสดงกราฟในโปรแกรมสกาดา (SCADA) (รูปที่ 2) และใช้ Modbus RTU มาช่วยในการสื่อสารระหว่าง Temperature Controller กับโปรแกรม PLC เพื่อนำค่า PID มาประมวลผล



รูปที่ 1 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความดันของกระบวนการดองในสภาวะสุญญากาศ



รูปที่ 2 ส่วนแสดงผลของกระบวนการดองในโปรแกรม SCADA

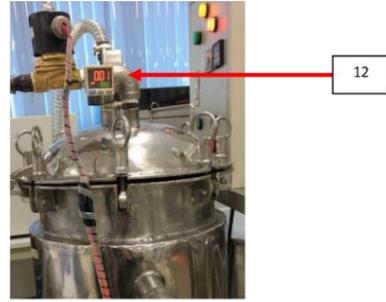
สำหรับการควบคุมความดันภายในถังดองให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศซึ่งเป็นระบบควบคุมวงปิด (Closed Loop Control) ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนของการควบคุมอุณหภูมิ โดยจะใช้ อุปกรณ์ วัด ความดัน (Pressure Transmitter; PT) ที่ติดตั้งบนถังดองเป็นอุปกรณ์วัดความดันภายในถังเพื่อทำการควบคุมแบบป้อนกลับให้กระบวนการ

อุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องปรับสภาพกรดสำหรับผักแกะสลักภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศแสดงในรูปที่ 3 และ 4 หน้าทีของอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานของเครื่องดองสุญญากาศแสดงในตารางที่ 1 โดยการใช้เครื่องปรับสภาพกรดสำหรับผักแกะสลักทำดังนี้ บรรจุตัวอย่างในตะแกรงใส่ตัวอย่างแล้ววางตะแกรงลงในถังสุญญากาศ

(4) เหน้าดองใส่ลงในถังพักของเหลว (2) และปิดฝาถังให้สนิท เติมน้ำสะอาดลงในถังพักน้ำสำหรับดูดเลี้ยงปั้ม (11) ให้ได้ระดับครึ่งถัง ปรับตั้งเวลาและความดันให้มีค่าเท่ากับ 0.5 bar เปิดระบบสุญญากาศรอจนกระทั่งเครื่องดูดน้ำดองที่อยู่ในถังพักของเหลวไปยังถังสุญญากาศจนหมด เมื่อครบเวลาตรงตามที่ต้องการเปิดวาล์วเหนือสายยางสำหรับถ่ายของเหลวออก (7) ให้อากาศภายนอกถ่ายเทเข้าสู่ถังสุญญากาศ เพื่อให้ความดันภายในถังเป็นความดันที่บรรยากาศแล้วจึงเปิดฝาถังสุญญากาศเพื่อนำตัวอย่างออก



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องตองสุญญากาศ ได้แก่ กล่องควบคุมอุปกรณ์ (1) ถังพักของเหลว (2) สายยางสำหรับลำเลียงของเหลว (3) สายยางดูดอากาศ (4) ถังสุญญากาศ (5) ถังสองชั้นสำหรับเติมน้ำควบคุมอุณหภูมิ (6) สายยางสำหรับถ่ายของเหลวออก (7) สายยางถ่ายเทน้ำที่หล่อเลี้ยงปั้ม (8) ปั้ม liquid ring (9) สายยางสำหรับดูดน้ำที่หล่อเลี้ยงปั้ม (10) ถังพักน้ำสำหรับดูดเลี้ยงปั้ม (11)



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องตองสุญญากาศแสดงมุมมองด้านข้าง (a) และมุมมองของถังพักน้ำเชื่อม และมุมมองด้านบนของถังสุญญากาศ แสดงส่วนประกอบได้แก่ ตัวปรับความดันสุญญากาศ (12) และตะแกรงใส่ตัวอย่าง (13)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ อุปกรณ์ และหน้าที่ในการทำงานของเครื่องตองสุญญากาศ

No.	อุปกรณ์	หน้าที่
1	กล่องควบคุมอุปกรณ์	บ่อนหรือกำหนดข้อมูลอุณหภูมิ และเวลา
2	ถังพักของเหลว	พักน้ำดองก่อนเข้าสู่ระบบ
3	สายยางสำหรับลำเลียงของเหลว	ลำเลียงของเหลวจากถังพักไปยังถังสุญญากาศ
4	สายยางดูดอากาศ	ดูดอากาศออกจากถังหมายเลข 5
5	ถังสุญญากาศ	ใส่ตัวอย่างก่อนทำสุญญากาศและการตอง
6	ถังสองชั้นสำหรับเติมน้ำควบคุมอุณหภูมิ	ควบคุมอุณหภูมิของระบบตอง
7	สายยางสำหรับถ่ายของเหลวออก	ถ่ายเทของเหลวทิ้ง

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ อุปกรณ์ และหน้าที่ในการทำงานของเครื่องดองสุญญากาศ (ต่อ)

No.	อุปกรณ์	หน้าที่
8	สายยางถ่ายเทน้ำที่หล่อเลี้ยงปั๊ม	ถ่ายเทน้ำที่เลี้ยงปั๊มกลับสู่ถังพัก
9	ปั๊ม liquid ring	ดูดอากาศในถังให้กลายเป็นสถานะสุญญากาศ
10	สายยางสำหรับดูดน้ำที่หล่อเลี้ยงปั๊ม	ลำเลียงน้ำจากถังพักไปเลี้ยงปั๊ม
11	ถังพักน้ำสำหรับดูดเลี้ยงปั๊ม	กักเก็บน้ำสำหรับปั๊ม
12	ตัวปรับความดันสุญญากาศ	ปรับความดันสุญญากาศมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 bar
13	ตะแกรงใส่ตัวอย่าง	ใส่ตัวอย่างและนำตัวอย่างออกภายหลังการดอง

## 2.2 การเตรียมผักแกละสลักและน้ำดอง

ผักที่ใช้ในการทดลองคือ แครอท ในระยะเก็บเกี่ยวทางการค้า ซึ่งมาจากตลาดสุวรรณภูมิ เขตตลาดกระบี่ กรุงเทพฯ นำมาชั่งน้ำหนัก ล้างด้วยน้ำประปา และปอกเปลือก นำแครอทที่ปอกเปลือกแล้วมาหั่นเป็นท่อน ท่อนละ 2 เซนติเมตร จากนั้นนำมาหั่นเป็นรูปลูกบาศก์ให้มีน้ำหนักเท่ากับ 14 กรัม เกลาขึ้นแครอทให้เป็นรูปทรงครึ่งวงกลม ใช้มีดแกละสลักสแตนเลสแกละให้เป็นลวดลายดอกกุหลาบ แครอทแกละสลักดอกกุหลาบที่เตรียมได้จะมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 10.88-11.83 กรัม

ส่วนประกอบของน้ำดองประกอบด้วย น้ำส้มสายชูความเข้มข้นร้อยละ 5 (คิวพี, ประเทศไทย) ร้อยละ 4.46 (w/w), น้ำร้อยละ 66.85 (w/w), เกลือ (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด, ประเทศไทย) ร้อยละ 0.85 (w/w) และน้ำตาลทราย (มิตรผล, ประเทศไทย) ร้อยละ 27.86 (w/w) ผสมส่วนประกอบทั้งหมดให้เข้ากันจะได้น้ำดองที่มีค่าพีเอชเท่ากับ  $2.72 \pm 0.05$

## 2.3 การศึกษากรรมวิธีการปรับกรดผักแกละสลัก

การทดลองทำโดยนำแครอทแกละสลักดอกกุหลาบแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนแครอทต่อสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการปรับกรดด้วยน้ำดองโดยใช้อัตราส่วนของแครอทต่อน้ำดองคือ 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนัก การทดลองการศึกษากระบวนการปรับกรดของผักแกละสลักจะวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มีทั้งหมด 4 กรรมวิธี แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการปรับกรดแครอทแกละสลัก

กรรมวิธี	สภาวะในการปรับกรด	อุณหภูมิ
1	บรรยากาศปกติ จนเข้าสู่สมดุล	-*
2	สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 0.5 bar เป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยบรรยากาศปกติจนเข้าสู่สมดุล	40°C
3	สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 0.5 bar เป็นเวลา 20 นาที ตามด้วยบรรยากาศปกติจนเข้าสู่สมดุล	40°C
4	สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 0.5 bar เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สลับกับความดันบรรยากาศปกติ 1 ชั่วโมง จนเข้าสู่สมดุล	40°C

\* ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิในการปรับกรด

สำหรับกรรมวิธีที่ 2 และ 3 การทำสุญญากาศจะทำเฉพาะเนื้อแครอทแกละสลักเท่านั้น ก่อนปล่อยน้ำดองเข้าถังดองและทิ้งไว้ในสภาพบรรยากาศปกติ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 และ 4 จะเป็นกระบวนการปรับกรดโดยแช่เนื้อแครอทแกละสลักในน้ำดองและทิ้งไว้ในสภาวะดังกล่าวจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล โดยสภาวะสมดุลจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในระหว่างการดองเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

ทำการวัดค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช (Lab 855, SI Analytics, Germany) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้เครื่อง Refractometer (HI 96800, HANNA, Romania) ของแครอทแกะสลักและน้ำดอง ทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ๆ ละ 3 ชั้น สำหรับการวัดค่าพีเอชและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของแครอทแกะสลักทำโดยปั่นเนื้อแครอทด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร และใช้ผ้าขาวบางกรองแยกเอาส่วนน้ำมาวิเคราะห์

## 2.4 การศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผักแกะสลักที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท

แครอทแกะสลักดอกกุหลาบที่ปรับกรดโดยใช้เครื่องปรับสภาพกรดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ทำการบรรจุร้อน (Hot Fill) ทำโดยบรรจุแครอทแกะสลักดอกกุหลาบลงในขวดแก้วที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วขนาด 200 มิลลิลิตร จำนวน 3 ชั้นต่อขวด เติมน้ำดองที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสให้ท่วมชิ้นตัวอย่าง และเหลือ Headspace บริเวณคอขวดร้อยละ 10 ของปริมาตรทั้งหมด ปิดด้วยฝาโลหะก่อนนำขวดไปฆ่าเชื้อในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บรักษาแครอทแกะสลักที่บรรจุในภาชนะบรรจุปิดสนิทเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส) และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน นำตัวอย่างวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด [4], *Staphylococcus aureus* [5], *Escherichia coli* [6] และยีสต์รา [7]

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 การศึกษากรรมวิธีการปรับกรดผักแกะสลัก

การศึกษากกรรมวิธีในการปรับกรดโดยใช้เครื่องปรับสภาพกรดของผักแกะสลักภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศเปรียบเทียบกับการ

ปรับกรดในสภาวะความดันปกติแสดงในตารางที่ 3-6 ผลการทดลองพบว่า การใช้เครื่องปรับกรดในสภาวะสุญญากาศและควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส (กรรมวิธีที่ 2-4) สามารถทำให้พีเอชลดลงเร็วกว่าในสภาวะความดันปกติ (กรรมวิธีที่ 1) ซึ่งสังเกตได้จากร้อยละการลดลงของค่าพีเอชในเนื้อแครอทแกะสลัก (ตารางที่ 5) โดยกรรมวิธีที่ 2 และ 4 อัตราเร็วของการลดลงของค่าพีเอชจะแตกต่างจากกรรมวิธีที่ 1 ในช่วง 17.44 และ 17.60 ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 มีร้อยละการลดลงของค่าพีเอชในช่วงดังกล่าวอยู่ระหว่าง 14.08-15.68 ซึ่งสอดคล้องกับการดองมะม่วงภายใต้ความดันสูง (500 กิโลปาสคาล) สามารถทำให้เกิดเกลือมีอัตราการแพร่เข้าสู่มะม่วงได้มากกว่าที่ไม่ใช้ความดัน [8] การปรับกรดโดยดองแครอทและน้ำดองในสภาวะสุญญากาศพร้อมๆ กัน (กรรมวิธีที่ 4) พบว่าค่าพีเอช (pH) มีแนวโน้มลดลงได้เร็วกว่าวิธีการปรับกรดวิธีอื่นๆ พีเอชเริ่มต้นของแครอทแกะสลักคือ  $6.25 \pm 0.00$  และภายหลังการดองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าพีเอชของเนื้อแครอทที่วัดได้เท่ากับ  $5.21 \pm 0.01$  คิดเป็นร้อยละการลดลงเท่ากับ 16.64 ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งมีค่าพีเอชลดลงในช่วงร้อยละ 12.32 – 13.12 และพีเอชเริ่มเข้าสู่สมดุลในช่วง 17 ชั่วโมงที่ 7 (พีเอช  $4.64 \pm 0.01$ ) ซึ่งสังเกตได้จากค่าพีเอชของแครอทแกะสลักมีค่าคงที่และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ภายหลังการดอง 8-9 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุล 10 ชั่วโมง (กรรมวิธีที่ 2 และ 3) และสำหรับการดองที่สภาวะความดันปกติ (กรรมวิธีที่ 1) จะใช้เวลานานถึง 11 ชั่วโมง (ตารางที่ 3 และ 5) ที่จะทำให้เกิดสภาวะสมดุลของการดองคือมีร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชคงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 27-28 หลังจาก 12 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับกรรายงานผลการปรับกรดของผักแกะสลัก 5 ชนิด ได้แก่

แครอท หัวไชเท้า ฟักทอง มะละกอดิบ และแตงล้าน แกะสลักเป็นลายดอกกุหลาบและใบไม้ ที่ต้องในน้ำดอง ปรับกรดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (พีเอช 3.27) ใน กล่องพลาสติกใสที่มีฝาปิดสนิท พบว่า ต้องใช้ระยะเวลา 5-7 วัน จึงจะเริ่มเข้าสู่สมดุล ในขณะที่การ ดองในน้ำดองปรับกรดที่อุณหภูมิห้อง พบว่า มะละกอ

ดิบและแตงล้านเกิดการเน่าเสียในวันที่ 4 ของการเก็บ รักษาโดยมีฝ้าขาวปรากฏขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของน้ำดอง [2] การดองในสภาวะสุญญากาศยังใช้ได้ผลดีกับการดอง ไข่เป็ดอีกด้วย โดยสามารถลดระยะเวลาในการดอง เหลือเพียง 9 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดองใน บรรยากาศปกติที่ใช้เวลาถึง 20 สัปดาห์ [9]

ตารางที่ 3 ค่าพีเอชของแครอทแกะสลักดอกกุหลาบและน้ำดองภายหลังการปรับกรดที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชม.)	กรรมวิธีที่ 1		กรรมวิธีที่ 2		กรรมวิธีที่ 3		กรรมวิธีที่ 4	
	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง
0	6.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.72 ± 0.00 <sup>i</sup>	6.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.72 ± 0.00 <sup>i</sup>	6.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.72 ± 0.00 <sup>f</sup>	6.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.72 ± 0.00 <sup>m</sup>
1	5.46 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.18 ± 0.01 <sup>h</sup>	5.43 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.19 ± 0.01 <sup>h</sup>	5.48 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.15 ± 0.01 <sup>e</sup>	5.21 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.19 ± 0.01 <sup>m</sup>
2	5.37 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.27 ± 0.01 <sup>g</sup>	5.39 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.34 ± 0.01 <sup>g</sup>	5.15 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.21 ± 0.01 <sup>d</sup>	5.18 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.25 ± 0.00 <sup>l</sup>
3	5.27 ± 0.00 <sup>d</sup>	3.32 ± 0.01 <sup>f</sup>	5.16 ± 0.00 <sup>d</sup>	3.42 ± 0.01 <sup>de</sup>	4.98 ± 0.01 <sup>d</sup>	3.24 ± 0.01 <sup>c</sup>	5.01 ± 0.00 <sup>d</sup>	3.28 ± 0.01 <sup>k</sup>
4	5.17 ± 0.00 <sup>e</sup>	3.45 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.86 ± 0.01 <sup>e</sup>	3.38 ± 0.01 <sup>f</sup>	4.87 ± 0.01 <sup>f</sup>	3.22 ± 0.01 <sup>d</sup>	4.78 ± 0.02 <sup>e</sup>	3.41 ± 0.00 <sup>j</sup>
5	4.98 ± 0.01 <sup>f</sup>	3.37 ± 0.01 <sup>d</sup>	4.85 ± 0.01 <sup>e</sup>	3.41 ± 0.01 <sup>e</sup>	4.79 ± 0.01 <sup>i</sup>	3.24 ± 0.01 <sup>bc</sup>	4.79 ± 0.01 <sup>e</sup>	3.44 ± 0.01 <sup>f</sup>
6	4.95 ± 0.00 <sup>g</sup>	3.35 ± 0.01 <sup>e</sup>	4.68 ± 0.00 <sup>g</sup>	3.43 ± 0.01 <sup>d</sup>	4.90 ± 0.00 <sup>e</sup>	3.25 ± 0.01 <sup>bc</sup>	4.74 ± 0.01 <sup>f</sup>	3.51 ± 0.01 <sup>e</sup>
7	4.78 ± 0.01 <sup>h</sup>	3.38 ± 0.01 <sup>d</sup>	4.59 ± 0.00 <sup>h</sup>	3.47 ± 0.00 <sup>c</sup>	4.85 ± 0.01 <sup>g</sup>	3.24 ± 0.01 <sup>c</sup>	4.64 ± 0.01 <sup>g</sup>	3.66 ± 0.01 <sup>d</sup>
8	4.81 ± 0.01 <sup>i</sup>	3.45 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.73 ± 0.01 <sup>f</sup>	3.50 ± 0.03 <sup>b</sup>	4.83 ± 0.00 <sup>h</sup>	3.27 ± 0.00 <sup>a</sup>	4.64 ± 0.01 <sup>g</sup>	3.71 ± 0.00 <sup>bc</sup>
9	4.79 ± 0.00 <sup>j</sup>	3.39 ± 0.00 <sup>c</sup>	4.68 ± 0.00 <sup>g</sup>	3.50 ± 0.02 <sup>b</sup>	4.79 ± 0.00 <sup>j</sup>	3.26 ± 0.00 <sup>b</sup>	4.61 ± 0.01 <sup>h</sup>	3.70 ± 0.01 <sup>c</sup>
10	4.71 ± 0.00 <sup>k</sup>	3.43 ± 0.01 <sup>b</sup>	4.58 ± 0.01 <sup>h</sup>	3.48 ± 0.01 <sup>c</sup>	4.68 ± 0.01 <sup>j</sup>	3.25 ± 0.00 <sup>bc</sup>	4.61 ± 0.00 <sup>h</sup>	3.72 ± 0.02 <sup>ab</sup>
11	4.55 ± 0.00 <sup>l</sup>	3.35 ± 0.00 <sup>e</sup>	4.48 ± 0.00 <sup>j</sup>	3.47 ± 0.01 <sup>c</sup>	4.60 ± 0.01 <sup>h</sup>	3.25 ± 0.01 <sup>bc</sup>	4.58 ± 0.01 <sup>i</sup>	3.73 ± 0.01 <sup>a</sup>
12	4.48 ± 0.01 <sup>m</sup>	3.33 ± 0.01 <sup>f</sup>	4.51 ± 0.00 <sup>j</sup>	3.53 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.60 ± 0.00 <sup>h</sup>	3.24 ± 0.01 <sup>c</sup>	4.53 ± 0.01 <sup>i</sup>	3.37 ± 0.01 <sup>j</sup>

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%TSS) ของแครอทแกะสลักดอกกุหลาบและน้ำดองภายหลังการปรับกรดที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชม.)	กรรมวิธีที่ 1		กรรมวิธีที่ 2		กรรมวิธีที่ 3		กรรมวิธีที่ 4	
	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง
0	7.5 ± 0.00 <sup>j</sup>	30.1 ± 0.00 <sup>b</sup>	7.5 ± 0.00 <sup>m</sup>	30.1 ± 0.00 <sup>a</sup>	7.5 ± 0.00 <sup>l</sup>	30.1 ± 0.00 <sup>a</sup>	7.5 ± 0.00 <sup>m</sup>	30.1 ± 0.00 <sup>a</sup>
1	9.0 ± 0.00 <sup>i</sup>	28.8 ± 0.00 <sup>f</sup>	9.1 ± 0.01 <sup>l</sup>	29.7 ± 0.05 <sup>b</sup>	8.7 ± 0.00 <sup>k</sup>	29.0 ± 0.00 <sup>def</sup>	11.3 ± 0.05 <sup>l</sup>	29.1 ± 0.00 <sup>b</sup>
2	12.0 ± 0.09 <sup>h</sup>	28.6 ± 0.09 <sup>f</sup>	9.6 ± 0.00 <sup>h</sup>	28.3 ± 0.00 <sup>fg</sup>	10.7 ± 0.00 <sup>j</sup>	29.1 ± 0.00 <sup>cdde</sup>	11.5 ± 0.00 <sup>k</sup>	29.1 ± 0.00 <sup>b</sup>
3	13.0 ± 0.00 <sup>g</sup>	28.7 ± 0.00 <sup>f</sup>	11.2 ± 0.00 <sup>j</sup>	29.2 ± 0.00 <sup>c</sup>	12.5 ± 0.00 <sup>i</sup>	28.7 ± 0.18 <sup>gh</sup>	13.5 ± 0.18 <sup>j</sup>	29.1 ± 0.05 <sup>b</sup>
4	12.5 ± 0.09 <sup>f</sup>	28.6 ± 0.18 <sup>f</sup>	12.9 ± 0.05 <sup>i</sup>	29.7 ± 0.05 <sup>b</sup>	13.8 ± 0.05 <sup>h</sup>	28.7 ± 0.14 <sup>h</sup>	15.6 ± 0.05 <sup>i</sup>	28.6 ± 0.05 <sup>cd</sup>
5	13.8 ± 0.05 <sup>e</sup>	29.2 ± 0.00 <sup>e</sup>	13.0 ± 0.05 <sup>h</sup>	28.4 ± 0.00 <sup>fg</sup>	14.1 ± 0.00 <sup>g</sup>	28.9 ± 0.05 <sup>fg</sup>	15.5 ± 0.05 <sup>i</sup>	28.7 ± 0.00 <sup>c</sup>
6	13.6 ± 0.00 <sup>e</sup>	29.8 ± 0.31 <sup>c</sup>	13.6 ± 0.00 <sup>g</sup>	29.0 ± 0.23 <sup>d</sup>	14.2 ± 0.00 <sup>g</sup>	29.4 ± 0.00 <sup>b</sup>	16.8 ± 0.00 <sup>e</sup>	28.4 ± 0.00 <sup>de</sup>
7	15.8 ± 0.31 <sup>d</sup>	31.1 ± 0.00 <sup>a</sup>	14.8 ± 0.05 <sup>f</sup>	28.9 ± 0.05 <sup>de</sup>	15.4 ± 0.00 <sup>e</sup>	29.0 ± 0.05 <sup>ef</sup>	16.6 ± 0.05 <sup>f</sup>	28.2 ± 0.05 <sup>fg</sup>
8	15.8 ± 0.05 <sup>d</sup>	30.2 ± 0.05 <sup>b</sup>	16.5 ± 0.09 <sup>e</sup>	28.7 ± 0.18 <sup>e</sup>	15.3 ± 0.05 <sup>f</sup>	29.2 ± 0.05 <sup>cd</sup>	16.4 ± 0.00 <sup>f</sup>	28.3 ± 0.00 <sup>ef</sup>
9	16.6 ± 0.18 <sup>c</sup>	29.6 ± 0.05 <sup>d</sup>	17.3 ± 0.00 <sup>b</sup>	28.5 ± 0.05 <sup>f</sup>	16.1 ± 0.18 <sup>d</sup>	29.0 ± 0.00 <sup>def</sup>	17.0 ± 0.00 <sup>d</sup>	28.1 ± 0.05 <sup>g</sup>
10	16.9 ± 0.27 <sup>b</sup>	29.4 ± 0.00 <sup>d</sup>	17.1 ± 0.00 <sup>c</sup>	27.9 ± 0.05 <sup>h</sup>	17.0 ± 0.00 <sup>c</sup>	29.0 ± 0.00 <sup>def</sup>	17.7 ± 0.05 <sup>c</sup>	28.2 ± 0.05 <sup>fg</sup>
11	17.1 ± 0.00 <sup>b</sup>	29.1 ± 0.05 <sup>e</sup>	17.5 ± 0.05 <sup>a</sup>	28.2 ± 0.05 <sup>g</sup>	17.7 ± 0.05 <sup>b</sup>	29.2 ± 0.23 <sup>bc</sup>	18.2 ± 0.23 <sup>b</sup>	28.1 ± 0.05 <sup>g</sup>
12	18.3 ± 0.00 <sup>a</sup>	29.1 ± 0.00 <sup>e</sup>	17.0 ± 0.00 <sup>d</sup>	27.6 ± 0.31 <sup>i</sup>	18.5 ± 0.25 <sup>a</sup>	29.1 ± 0.00 <sup>cdde</sup>	18.4 ± 0.14 <sup>a</sup>	28.2 ± 0.32 <sup>ef</sup>

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแครอตและสลักเท่ากับร้อยละ 7.50±0.00 และผลของการปรับกรดโดยใช้เครื่องปรับสภาพกรดของผักและสลักภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศทั้งแครอตและน้ำดองพร้อมกัน (กรรมวิธีที่ 4) ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ โดยภายหลังการดอง 1 ชั่วโมง แครอตมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับร้อยละ 11.30±0.05 ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของแครอตจากกรรมวิธีอื่นๆ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8.70±0.00 ถึง 9.10±0.01 (ตารางที่ 4) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อแครอตมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการดองและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการดองที่ 12 ชั่วโมง เนื้อแครอตมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 59.24 (ตารางที่ 6) ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างน้ำดองลดลงจากปริมาณเริ่มต้น (ร้อยละ 30.10) ร้อยละ 4.98 ในชั่วโมงที่ 4 (ตารางที่ 6) และมีปริมาณคงที่จนกระทั่ง 12 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการดอง ร้อยละของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำดองลดลงร้อยละ

6.31 เมื่อเทียบกับชั่วโมงเริ่มต้น (ตารางที่ 6) มีงานวิจัยที่รายงานถึงการใช้เครื่องดองผักแบบความดันอัตโนมัติ ไอโตรีสแตติก พบว่าการใช้ความดัน 5 บาร์อัดน้ำดอง (น้ำเกลือร้อยละ 3 น้ำขาวข้าวร้อยละ 1 และข้าวสุกร้อยละ 1) เข้าไปในเนื้อผักก่อนการดองผักกุ่ม ผักเสี้ยน หน่อไม้ และแตงกวา เป็นเวลา 10 นาที และกะหล่ำปลี เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาหมักต่อในภาชนะบรรจุปิดสนิท พบว่า สามารถลดระยะเวลาในการดองได้ 1-2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการดองแบบปกติ [9] เช่นเดียวกับการดองมะม่วงโดยใช้เครื่องดองความดัน ไอโตรีสแตติกแบบใช้ความดันสูงและแบบสุญญากาศ พบว่า การดองภายใต้ความดันสูงสามารถทำให้เกลือมีอัตราการแพร่เข้าสู่มะม่วงได้มากกว่าที่ไม่ใช้ความดัน และการดองภายใต้ความดันที่ 500 กิโลปาสคาล มีความเหมาะสมมากที่สุด การดองที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 6 วัน และความเข้มข้นเกลือร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 4 วัน จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5 ร้อยละการลดลงของค่าพีเอชของแครอตและสลักดอกกุหลาบ และร้อยละการเพิ่มขึ้นของพีเอชของน้ำดอง ภายหลังการปรับกรดที่เวลาต่างๆ เทียบกับพีเอชเริ่มต้นของแครอตและน้ำดอง

เวลา (ชั่วโมง)	กรรมวิธีที่ 1		กรรมวิธีที่ 2		กรรมวิธีที่ 3		กรรมวิธีที่ 4	
	แครอต	น้ำดอง	แครอต	น้ำดอง	แครอต	น้ำดอง	แครอต	น้ำดอง
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12.64	14.47	13.12	14.73	12.32	13.65	16.64	14.73
2	14.08	16.82	13.76	18.56	17.60	15.26	17.12	16.31
3	15.68	18.07	17.44	20.47	20.32	16.05	19.84	17.07
4	17.28	21.16	22.24	19.53	22.08	15.53	23.52	20.23
5	20.32	19.29	22.40	20.23	23.36	16.05	23.36	20.93
6	20.80	18.81	25.12	20.70	21.60	16.31	24.16	22.51
7	23.52	19.53	26.56	21.61	22.40	16.05	25.76	25.68
8	23.04	21.16	24.32	22.29	22.72	16.82	25.76	26.68
9	23.36	19.76	25.12	22.29	23.36	16.56	26.24	26.49
10	24.64	20.70	26.72	21.84	25.12	16.31	26.24	26.88
11	27.20	18.81	28.32	21.61	26.40	16.31	26.72	27.08
12	28.32	18.32	27.84	22.95	26.40	16.05	27.52	19.29

ตารางที่ 6 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%TSS) ของแครอทและสลัดอกกุหลาบและร้อยละการลดลงของ %TSS ของน้ำดองภายหลังการปรับกรดที่เวลาต่างๆ เทียบกับ %TSS เริ่มต้นของแครอทและน้ำดอง

เวลา (ชั่วโมง)	กรรมวิธีที่ 1		กรรมวิธีที่ 2		กรรมวิธีที่ 3		กรรมวิธีที่ 4	
	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง	แครอท	น้ำดอง
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.67	4.32	17.58	1.33	13.79	3.65	33.63	3.32
2	37.50	4.98	21.88	5.98	29.91	3.32	34.78	3.32
3	42.31	4.65	33.04	2.99	40.00	4.65	44.44	3.32
4	40.00	4.98	41.86	1.33	45.65	4.65	51.92	4.98
5	45.65	2.99	42.31	5.65	46.81	3.99	51.61	4.65
6	44.85	1.00	44.85	3.65	47.18	2.33	55.36	5.65
7	52.53	-3.32	49.32	3.99	51.30	3.65	54.82	6.31
8	52.53	-0.33	54.55	4.65	50.98	2.99	54.27	5.98
9	54.82	1.66	56.65	5.32	53.42	3.65	55.88	6.64
10	55.62	2.33	56.14	7.31	55.88	3.65	57.63	6.31
11	56.14	3.32	57.14	6.31	57.63	2.99	58.79	6.64
12	59.02	3.32	55.88	8.31	59.46	3.32	59.24	6.31

อย่างไรก็ตาม การดองแบบสุญญากาศที่ความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก จะต้องใช้เวลามากกว่า 9 วัน จึงจะมีปริมาณเกลือถึงจุดสมดุลและใกล้เคียงกับมะม่วงสุตรดองเค็มที่ดองด้วยวิธีปกติ [8] สอดคล้องกับอลิษาและคณะ [10] ที่รายงานว่า การนำมะม่วงมาอัดความดันที่ 500 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 3 วัน ที่ความเข้มข้นของน้ำเกลือร้อยละ 10, 12 และ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณเกลือจะแพร่เข้าสู่มะม่วงได้มากขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น โดยการอัดความดันโดยใช้ น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 3 วัน จะส่งผลให้มะม่วงดองมีลักษณะทางกายภาพและเคมีใกล้เคียงกับมะม่วงดองที่ดองในสภาวะปกติมากที่สุด

### 3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผักและสลัดปรับ

#### กรดที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของแครอทและสลัดอกกุหลาบที่ปรับกรดโดยใช้เครื่องปรับสภาพกรดของผักและสลัดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดัน

บรรยากาศ ก่อนทำการบรรจุร้อนแล้วนำไปทำการฆ่าเชื้อในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 7 จำนวนจุลินทรีย์ของแครอทและสลัดอกกุหลาบที่ปรับกรดโดยใช้เครื่องปรับสภาพกรดของผักและสลัดและเก็บรักษาในขวดแก้วที่มีฝาปิดสนิทเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

Days	Total bacteria count (cfu/g)	Staphylococcus aureus (0.1 g)	E. coli (MPN/g)	Yeast & Mold (cfu/g)
0	< 10	Not Detected	< 3	< 10
1	< 10	Not Detected	< 3	< 10
2	< 10	Not Detected	< 3	< 10
3	< 10	Not Detected	< 3	< 10
4	< 10	Not Detected	< 3	< 10
5	< 10	Not Detected	< 3	< 10
6	< 10	Not Detected	< 3	< 10
7	< 10	Not Detected	< 3	< 10

เป็นเวลา 15 นาที และเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์รา มีจำนวนน้อยกว่า 10 CFU/g E. coli มีจำนวนน้อยกว่า 3 MPN/g และตรวจ

ไม่พบ *S. aureus* (ตารางที่ 7) ตามเกณฑ์มาตรฐานสำหรับอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 กำหนดให้จุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนไม่เกิน 1,000 ต่ออาหาร 1 กรัม ยีสต์รามีจำนวนไม่เกิน 100 ต่ออาหาร 1 กรัม และต้องตรวจพบแบคทีเรียโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 กรัม [11] ดังนั้น จำนวนจุลินทรีย์ในแครอทแกะสลักดอกกุหลาบจึงไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

#### 4. สรุป

เครื่องปรับสภาพความเป็นกรดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถลดระยะเวลาในการดองแครอทแกะสลักดอกกุหลาบได้ โดยกรรมวิธีที่เหมาะสมคือ การปรับกรดของโดยการดองแครอทและน้ำดองในสภาวะสุญญากาศ (0.5 bar) พร้อมๆ กัน และควบคุมอุณหภูมิในการดองที่ 40 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุล 7 ชั่วโมง และสามารถลดระยะเวลาในการดองเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดองแบบปกติได้ 5-7 วัน แครอทแกะสลักที่ปรับกรดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในขวดแก้วปิดสนิทโดยกรรมวิธีบรรจุร้อนเป็นเวลา 7 วัน ไม่มีการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเน่าเสียตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา เครื่องปรับสภาพความเป็นกรดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปขยายผลเพื่อใช้สำหรับผักและผลไม้แกะสลักชนิดอื่นๆ รวมไปถึงอาหารที่ใช้กรรมวิธีการถนอมอาหารโดยการดองได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้อาหารอนุเคราะห์ที่ใช้สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมอาหาร ที่อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Suwannarak., P. Phanumong and N. Rattanapanone, "Physiological changes of fruit and vegetable carving," *Chiang Mai University Journal of Natural Science*, vol. 13, no. 1, pp. 77-86, 2014.
- [2] J. Suwannarak., C. Phuenpiphop, N. Rattanapanone, S. Thimthong, S. Chantakul and P. Phanumong, "Vegetable-craved processing in Hermetically seal container," *RMUTP Research Journal*, vol. 11, no. 2, 2017.
- [3] W. Yuenyongputtakal, "Factors Influencing on Dewatering by Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables," *Burapha Science Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 226-233, 2013.
- [4] Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2018, Feb 10). Chapter 3: Aerobic Plate Count. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-aerobic-plate-count>
- [5] Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2018, Feb 10). Chapter 12: *Staphylococcus aureus*. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-staphylococcus-aureus>
- [6] Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2018, Feb 10). Chapter 4: Enumeration of

- Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>.
- [7] American Public Health Association (APHA). "Compendium of method for the microbiological of food: Chapter 20," 4th ed. American Public Health Association, Washington D.C., USA, 2001.
- [8] N. Sun, H. Liu, X. Zhang, H. Wang, S. Liu, P. Chen, W. Yu and K. Liu, "Physical, chemical properties and structural changes of Zaodan pickled by vacuum decompression technology," *Korean journal for food science of animal resources*, vol. 38, no. 2, pp. 291–301, 2018.
- [9] J. KerdKuan, "Mango pickles with hydrostatic pressure from research to industry," *Technology Chaoban*, vol. 19, no. 401, pp. 26, 2007.
- [10] K. Thiminkul, "Research and development of vegetable pickling machine by using the hydro static process and mixed starter solution," Research and development report, Department of Agriculture, 2017.
- [11] A. Wiluntho, A. Authapho and C. Nuntheesri. "Production of pickled mango using hydrostatic pressure," Special Problems Bachelor of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2002.
- [12] Ministry of Public Health, "Announcement from the Ministry of Public Health (Issue 355). Food in hermetically sealed containers," *Gazette General Announcement*, vol. 130, Jul. 2013.