



# วิทยานิพนธ์

การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมัก  
พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

IMPROVEMENT OF FERMENTED KANOMJEEN NOODLE  
FOR DEVELOPED FROZEN READY-TO-EAT  
FERMENTED KANOMJEEN PRODUCT

นายมนต์ราม อินทศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

### ปริญญญา

.....  
วิทยาศาสตร์การอาหาร

.....  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen

Ready-To-Eat Fermented Kanomjeen Product

นามผู้วิจัย นายมนต์ราม อินทศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( ..... ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D. .... )

กรรมการ

( ..... รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D. .... )

กรรมการ

( ..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D. .... )

หัวหน้าภาควิชา

( ..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนบูลย์ สัจจานันตกุล, Ph.D. .... )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....  
( ..... )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมัก  
พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen Ready-To-Eat  
Fermented Kanomjeen Product

โดย

นายมนต์ราม อินทศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)  
พ.ศ. 2550

มนต์ราม อินทศิริ 2550: การปรับปรุงเส้นขนมเงินเพื่อพัฒนาเป็นขนมเงินหมักพร้อมบริโภคน้ำแข็ง  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาการที่ปรึกษา:  
ศาสตราจารย์อรอนงค์ นววิกุล, Ph. D. 281 หน้า

การเกิดรีโทรเกรดในอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักทำให้อาหารมีความกระด้าง เปราะ และแตกหักหลังคั้นรูปจากเยือกแข็ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 หมัก ด้วยวิธีอบผานเนื้อ และตรวจสอบสมบัติของแป้งหมักผสมกับ เพื่อนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมเงินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคน้ำแข็ง ผลการคัดแปรแป้งข้าวเจ้าหมักวิธีอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนระหว่างแป้งหมักแห้งต่อน้ำ 1:2 อุณหภูมิ 55 °ซ 24 และ 48 ชม ปรากฏว่า การอบผานเนื้อ 48 ชม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสตาร์ชแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ ดังนี้ ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 22.36 เป็น 25.39 อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะเพิ่มขึ้นจาก 74.58 °ซ และ 10.30 จูล/ก เป็น 76.53 °ซ และ 12.68 จูล/ก ตามลำดับ สมบัติความคงทนต่อการคั้นรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้ง รอบที่ 5 ค่าพลังงานการเกิดรีโทรเกรดลดลงจาก 4.18 เป็น 2.94 จูล/ก เจลแป้งสูญเสีย น้ำลดลงจากร้อยละ 66.40 เป็น 51.43 เมื่อผลิตขนมเงิน และทดสอบคั้นรูปจากเยือกแข็ง ขนมเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10-50 ได้ผลว่าขนมเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากกว่าขนมเงินแป้งหมักปกติ ส่วนการผสมกันในแป้งหมัก แป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีสมบัติเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติดังนี้ สมบัติด้านความหนืด เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 แป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีความหนืดสูงสุด และเซตแบคเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ ค่าพลังงานการเกิดเจลลิตีไนซ์ 8.60 จูล/ก น้อยกว่าแป้งหมักปกติ (10.83 จูล/ก) ความคงทนต่อการคั้นรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้ง รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีค่าพลังงานการเกิดรีโทรเกรด (0.030 จูล/ก) น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (0.892 จูล/ก) โดยเจลแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.5 สูญเสียน้ำลดลงจากเจลแป้งหมักปกติ (56.76) เป็นร้อยละ 29.02 เมื่อผลิตขนมเงินแป้งหมักผสมกับ ขนมเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากกว่าขนมเงินแป้งหมักปกติ เมื่อเก็บรักษาขนมเงินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคน้ำแข็งผ่านการแช่เยือกแข็งวิธีโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ 4 °ซ และ -18 °ซ ตรวจสอบทางประสาทสัมผัสขนมเงินแยกกับแกงเขียวหวานไก่ ขนมเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อมีอายุการเก็บไม่เกิน 8 วัน และมากกว่า 56 วันตามลำดับ ขนมเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีอายุการเก็บไม่เกิน 10 วัน และมากกว่า 56 วัน ตามลำดับ ขณะที่ขนมเงินแป้งหมักปกติมีอายุการเก็บไม่เกิน 4 วัน และไม่เกิน 49 วัน ตามลำดับ ส่วนแกงเขียวหวานไก่มีอายุการเก็บไม่เกิน 12 วัน และมากกว่า 56 วัน ตามลำดับ โดยขนมเงินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคน้ำแข็งยังคงมีจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Monrarm Intarasiri 2007: Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen Ready-To-Eat Fermented Kanomjeen Product. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Professor Onanong Naivikul, Ph.D. 281 pages.

The retrogradation in food which contained mainly starch causes the increase in hardness and brittleness and the decrease in adhesiveness after a freeze-thaw treatment. This research aimed to modify fermented rice flour by an annealing treatment and to select an additive hydrocolloid in order to reduce the retrogradation and increase shelf life of frozen ready-to-eat Kanomjeen with chicken green curry. The 1:2 flour to water (w/w) fermented Chai Nat 1 rice flour (FRF) was subjected to annealing treatment at 55 °C for 24 h (ANF24) and 48 h (ANF48). The crystallinity, gelatinization and retrogradation properties and freeze-thaw stability of annealed flour were investigated. When compared to FRF, the crystallinity of ANF48 was significantly ( $p \leq 0.05$ ) increased from 22.36 to 25.39%. The gelatinization temperature and enthalpy of ANF48 was significantly ( $p \leq 0.05$ ) increased from 74.58 °C and 10.30 J/g to 76.53 °C and 12.68 J/g, respectively. At the fifth freeze-thaw cycle, the retrogradation enthalpy of ANF48 gel was significantly ( $p \leq 0.05$ ) decreased from 2.94 to 4.18 J/g. The syneresis percentage of ANF48 gel (51.43%) was lower than FRF gel (66.40%). Judged by panelists, Kanomjeen which was made from 40% ANF48 in FRF, was more favorable than the original Kanomjeen. The pasting property, gelatinization enthalpy, retrogradation enthalpy and freeze-thaw stability was investigated after the addition of CMC in the FRF. It was found that the peak viscosity and the setback was significantly ( $p \leq 0.05$ ) increased when the hydrocolloid concentration was increased. At the fifth freeze-thaw cycle, the gelatinization enthalpy and gel retrogradation of the CMC-added FRF significantly ( $p \leq 0.05$ ) decreased from 10.83 and 0.892 J/g to 8.60 and 0.030 J/g, respectively. The syneresis percentage of the CMC-added FRF gel (29.02%) was lower than FRF gel (56.76%). After a freeze-thaw process, the panelists preferred the Kanomjeen with 0.3% CMC over the original Kanomjeen. When the shelf life of Kanomjeen and chicken green curry was separately investigate, the shelf life of the original Kanomjeen was less than 5 days when stored at 4 °C and less than 49 days when stored at -18 °C, respectively. For 40% ANF48 in Kanomjeen, it could be stored less than 8 days at 4 °C and more than 56 days at -18 °C. For the Kanomjeen with 0.3% CMC, it could be stored less than 10 days at 4 °C and more than 56 days at -18 °C. All frozen sample stored at 4 and -18 °C did not significantly change texture ( $p > 0.05$ ) during storage. The chicken green curry was still accepted by panelist when stored less than 12 at 4 °C and more than 56 days at -18 °C. The microbiological property of ready-to-eat frozen Kanomjeen, stored at 4 and -18 °C for 12 and 56 days, met the requirement of the standard regulation for safety.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศ. ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำข้อคิดเห็น แนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนการจัดหาทุนสำหรับการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. สงวนศรี เจริญเหรียญ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผศ. ดร. อนุวัตร แจ่มชัด กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ตลอดจน ผศ. ดร. วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ซึ่งกรุณาตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบริษัทบางกอกอินดัสเทรียลแก๊สจำกัด ที่สนับสนุนในโตรเจนเหลวสำหรับการแช่เยือกแข็ง ขอขอบคุณกลุ่มแม่บ้านบ้านประโดกที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการหมักแป้งข้าว ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และศูนย์เครื่องมือกลางทุกท่านที่แนะนำ และช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร.น้ำฝน ศิระจิตต์ คุณอโนชา สุขสมบูรณ์ คุณพัลลภ ไพพงษ์ คุณกรกช หล่อโลหการ คุณกิตติญาณ เชื้อวเชิงคำ คุณไพลาภา นิมสังข์ คุณโสภิดา สืบวงษา รวมทั้งพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ร่วมสถาบันทุกท่านที่ได้เอื้อนามในที่นี้ ซึ่งให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณลุงนิคม และคุณป้าลัดดา ศรีสุวรรณที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ส่งเสริมและให้โอกาสด้านการศึกษาด้วยดีเสมอมา ตลอดจนพี่ชาย และน้องชายซึ่งเป็นกำลังใจที่สำคัญในการทำวิทยานิพนธ์

มนต์ราม อินทศิริ

เมษายน 2550

## สารบัญ

### หน้า

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| สารบัญ.....               | (1) |
| สารบัญตาราง.....          | (2) |
| สารบัญภาพ.....            | (9) |
| คำนำ.....                 | 1   |
| วัตถุประสงค์.....         | 2   |
| การตรวจเอกสาร.....        | 3   |
| อุปกรณ์และวิธีการ.....    | 39  |
| อุปกรณ์.....              | 39  |
| วิธีการทดลอง.....         | 42  |
| ผลและวิจารณ์.....         | 65  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ.....    | 207 |
| สรุป.....                 | 207 |
| ข้อเสนอแนะ.....           | 216 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง..... | 217 |
| ภาคผนวก.....              | 226 |
| ภาคผนวก ก.....            | 227 |
| ภาคผนวก ข.....            | 229 |
| ภาคผนวก ค.....            | 240 |
| ภาคผนวก ง.....            | 244 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                       | หน้า |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | สมบัติที่แตกต่างกันของเอมิไลส และเอมิไลเพกทิน.....                                                                                                                    | 5    |
| 2        | สภาวะการอบผานเนื้อสัตว์แต่ละชนิด.....                                                                                                                                 | 24   |
| 3        | สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสสารผสมกัม.....                                                                                                                           | 34   |
| 4        | ข้อกำหนดทางจุลชีววิทยาของอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือแช่เยือกแข็ง.....                                                                                                | 37   |
| 5        | สัดส่วนระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ.....                                                                                                                 | 50   |
| 6        | เปรียบเทียบขนาดของเม็ดสสารในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....                                                                                 | 66   |
| 7        | เปรียบเทียบสีแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....                                                                                                | 70   |
| 8        | เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....                                                                              | 72   |
| 9        | เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....                                                                             | 74   |
| 10       | เปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....                                                                                 | 78   |
| 11       | เปรียบเทียบการละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง                                                                                            | 81   |
| 12       | เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง.....                                                                      | 85   |
| 13       | เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง.....                                                                   | 88   |
| 14       | เปรียบเทียบการสูญเสียไอน้ำก่อน และหลังการคั้นรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง.....                            | 91   |
| 15       | เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) และค่าความยืดหยุ่นก่อน และหลังการคั้นรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง..... | 94   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                        | หน้า |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 16       | เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 , 30, 40 และ 50.....                                                             | 102  |
| 17       | เปรียบเทียบปริมาณจับของขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร.....                                                                                                                              | 105  |
| 18       | เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสดแผ่นโลหะเย็นจัด.....                                                                | 107  |
| 19       | เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสดแผ่นโลหะเย็นจัด.....                                                                 | 112  |
| 20       | เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร ก่อนการแซ่เอี๊ยกแห้ง.....                                                                                         | 116  |
| 21       | เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสดแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งที่ 1, 3 และ 5.....            | 119  |
| 22       | เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตรแซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสดแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งที่ 1 และ 5..... | 126  |
| 23       | เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....                                                                                             | 133  |
| 24       | เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำก่อน และหลังจากคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งของเจลแป้งหมักปกติ และแป้งหมักปกติผสมกัมร้อยละ 0.5.....                                                                      | 142  |
| 25       | เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งหมักปกติ แป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 หลังคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งรอบที่ 5.....                       | 144  |
| 26       | เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 แซ่เอี๊ยกแห้งแบบอากาศเย็นจัด และคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งรอบที่ 1, 3 และ 5.....                    | 147  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                           | หน้า |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 27       | เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 15 สูตร ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....                                                                                    | 153  |
| 28       | เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตร.....                                                                                                 | 155  |
| 29       | เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะต่างกัน 4 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบ ไคร้โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....                                                                       | 158  |
| 30       | เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะต่างกัน 4 สูตรแซ่เอี๊ยกแข็งแบบ ไคร้โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....                                                                         | 162  |
| 31       | เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร ก่อนการแซ่เอี๊ยกแข็ง.....                                                                                            | 166  |
| 32       | เปรียบเทียบคะแนนความเข้มประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูป จากเอี๊ยกแข็งที่ 1, 3 และ 5 .....                  | 168  |
| 33       | เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตรแซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอี๊ยกแข็งที่ 1 และ 5..... | 174  |
| 34       | เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ วัน เริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....           | 182  |
| 35       | เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....                | 184  |
| 36       | เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 <sup>1</sup> .....                  | 189  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                                  | หน้า |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 37       | เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแรงแจ้วหวานไ้ระหว่างการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียสวันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12                                                                      | 190  |
| 38       | เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบโคร โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ-18 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56..... | 194  |
| 39       | เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบโคร โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 °ซ วันเริ่มต้น,วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....     | 196  |
| 40       | เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร ระหว่าง การเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....                          | 201  |
| 41       | เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแรงแจ้วหวานไ้ระหว่างเก็บรักษา-18 องศาเซลเซียส.....                                                                                                            | 202  |
| 42       | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขนมจีนแซ่เอี๊ยกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน .....                                                                 | 204  |
| 43       | ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนพร้อมบริโภคแซ่เอี๊ยกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน.....                                                          | 206  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่ | หน้า                                                                                                               |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ข1           | ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอมิโลส..... 233                                                                 |
| ง1           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดของเม็ดสตาร์ชในแป้ง..... 245                                                            |
| ง2           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีแป้งปกติ แป้งหมัก แป้งหมักอบผสานเนื้อ<br>24 และ 48 ชม..... 245                         |
| ง3           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ช..... 245                                                 |
| ง4           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งหมักคั้น<br>รูปจากแช่เยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5..... 246 |
| ง5           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมัก และ<br>แป้งอบผสานเนื้อ..... 248                      |
| ง6           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนกำลังการพองตัวแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และ<br>แป้งหมักอบผสานเนื้อ..... 248                     |
| ง7           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการละลายแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และ<br>แป้งหมักอบผสานเนื้อ..... 249                     |
| ง8           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมัก<br>และแป้งอบผสานเนื้อ..... 249                        |
| ง9           | การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการคั้นรูปจากเยือก<br>แข็งของเจลแป้ง..... 250                        |
| ง10          | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเจลจากแป้งผ่านการคั้นรูป<br>จากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด..... 251         |
| ง11          | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นของเจลแป้งผ่านการคั้นรูปจาก<br>เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด..... 251             |
| ง12          | การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักทดแทนด้วย<br>แป้งหมักอบผสานเนื้อ..... 252                      |
| ง13          | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบ<br>ไครโอเจนิค..... 252                                |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                        | หน้า |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ง14      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบ<br>ไครโอเจนิค.....                                                                         | 253  |
| ง15      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแช่<br>เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค.....                                                          | 253  |
| ง16      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด.....                                                                 | 256  |
| ง17      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่ายืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด.....                                                                  | 256  |
| ง18      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแช่<br>เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....                                                 | 257  |
| ง19      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7<br>ชนิดร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....                                                       | 260  |
| ง20      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนการสูญเสีย น้ำหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็งของเจล<br>แป้งหมักปกติผสมกัม.....                                                        | 264  |
| ง21      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งหมัก<br>ผสมกัม และเจลแป้งหมักผสมกัมก่อนแช่ เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือก<br>แข็งรอบที่ 5..... | 264  |
| ง22      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนความแน่นเนื้อเจลแป้งหมักหลังจากคืนรูปจาก<br>เยือกแข็ง.....                                                                      | 265  |
| ง23      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยืดหยุ่นเจลแป้งหมักหลังจากคืนรูปจาก<br>เยือกแข็ง.....                                                                       | 266  |
| ง24      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีน<br>ผสมกัมแซนแทน, ซีเอ็มซี และกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....                          | 267  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                       | หน้า |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ง25      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....                                                                                                    | 267  |
| ง26      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....                                                                                                     | 268  |
| ง27      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....                                                                                        | 269  |
| ง28      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งวิธีสัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด.....                                                                                        | 271  |
| ง29      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....                                                                                                     | 272  |
| ง30      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด.....                                                                                  | 272  |
| ง31      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษา อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....             | 275  |
| ง32      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....                  | 276  |
| ง33      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56..... | 278  |
| ง34      | การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....     | 278  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                                                                                | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 โมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน.....                                                                                                                              | 4    |
| 2 กระบวนการผลิตขนมจีน .....                                                                                                                                           | 8    |
| 3 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดชนิดต่าง ๆ.....                                                                                                                   | 14   |
| 4 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....                                                                                                                    | 15   |
| 5 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด.....                                                                                                                     | 16   |
| 6 แบบจำลองการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก.....                                                                                                                           | 17   |
| 7 กลไกการคั้รูปของเจลแป้ง.....                                                                                                                                        | 19   |
| 8 การจับกันของโมเลกุลสตาร์ชภายหลังการเกิดรีโทรเกรด.....                                                                                                               | 20   |
| 9 เจลแป้งผ่านการคั้รูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 5.....                                                                                                                      | 22   |
| 10 สภาวะการคั้แปรสตาร์ชทางเคมีเชิงฟิสิกส์ด้วยความร้อน.....                                                                                                            | 23   |
| 11 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ และความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าว.....                                                                                                        | 27   |
| 12 เม็ดสตาร์ชข้าวฟองเกอร์ มิลเลตสองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด<br>กำลังขยาย 3,000 เท่า.....                                                               | 27   |
| 13 ผลของการอบผานเนื้อต่อการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ช.....                                                                                                | 29   |
| 14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี และแป้งข้าวโพดผสมกัน.....                                                                                                        | 33   |
| 15 ค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำของเจลจากสตาร์ชที่ผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.6.....                                                                                             | 34   |
| 16 กระบวนการผลิตแป้งหมักปกติ และแป้งหมักฟรีเจลาทีนส์.....                                                                                                             | 43   |
| 17 กระบวนการผลิตแป้งหมักอบผานเนื้อ.....                                                                                                                               | 44   |
| 18 ลักษณะหลอดที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสีย น้ำของเจลแป้งก่อน และหลังหึ่งแยกน้ำ                                                                                           | 48   |
| 19 กระบวนการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมจีนทดแทนแป้งหมัก<br>ด้วยแป้งอบผานเนื้อ และขนมจีนผสมกับแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และ<br>แบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....    | 57   |
| 20 กระบวนการทดลองรวมทั้งหมด.....                                                                                                                                      | 63   |
| 21 ขนาดเม็ดสตาร์ชแป้งปกติ (NRF) แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบผานเนื้อ<br>24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านกำลังขยาย<br>1,000 เท่า..... | 66   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                                                                                                                                                             | หน้า |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 22     | ขนาด และรูปร่างเมื่อดูดซับแก๊ส (NRF) แก๊สหนักปกติ (FRF) และแก๊สหนัก<br>อบผสมเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ซม. (ANF48) ผ่านกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน<br>แบบส่องกราดกำลังขยาย 1,500, 5,000 และ 10,000 เท่า.....                                                      | 68   |
| 23     | สมบัติด้านความเหนียวของแก๊สปกติ (NRF), แก๊สหนักปกติ (FRF) และแก๊สหนักอบ<br>ผสมเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ซม. (ANF48) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเหนียว<br>อย่างรวดเร็ว.....                                                                                       | 75   |
| 24     | ระดับความเป็นผลึกของแก๊สปกติ แก๊สหนัก และแก๊สหนักอบผสมเนื้อ 24 และ<br>48 ซม.....                                                                                                                                                                            | 83   |
| 25     | การเปลี่ยนแปลงค่าเอนโดเทอร์มของแก๊สหนักปกติ (FRF) และแก๊สหนักอบผสม<br>เนื้อ 24 (ANF24) และ 48 (ANF48) ซม.....                                                                                                                                               | 85   |
| 26     | โครงสร้างของเจลแก๊สหนักปกติ (FRF) และเจลแก๊สหนักอบผสมเนื้อ 24 (ANF24)<br>และ 48 ซม (ANF48) ก่อนการแช่เยือกแข็ง และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบ<br>อากาศเย็นจัดที่ 5 กำลังขยาย 50 เท่า.....                                                                   | 99   |
| 27     | โครงสร้างขมจีนแก๊สหนักปกติ (สูตรที่ 1) และขมจีนทดแทนแก๊สหนักปกติ<br>ด้วยแก๊สหนักอบผสมเนื้อร้อยละ 20 (สูตรที่ 3) และ 40 (สูตรที่ 5) กำลังขยาย 50<br>เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5.....                                           | 130  |
| 28     | โครงสร้างเจลแก๊สหนักปกติ (FRF) ความเข้มข้นร้อยละ 8 เจลแก๊สหนักผสมกัม<br>แซนแทน (XANF) กัมซีเอ็มซี (CMCF) และกัมกัวร์ (GUAF) ร้อยละ 0.5 ก่อน<br>การแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย 500 เท่า หลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 กำลังขยาย<br>100 และ 500 เท่า.....         | 150  |
| 29     | โครงสร้างขมจีนแก๊สหนักปกติ (สูตรที่ 1) และขมจีนแก๊สหนักผสมกัมร้อยละ<br>0.3 คือ กัมแซนแทน (สูตรที่ 8) และกัมซีเอ็มซี (สูตรที่ 11) และกัมกัวร์ (สูตรที่<br>14) กำลังขยาย 50 เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบ<br>อากาศเย็นจัดรอบที่ 5..... | 178  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่                                                                              | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ก1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมเงินระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค.....                | 228  |
| ก2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมเงินระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด..... | 228  |
| ข1 กราฟมาตรฐานแอมิโลส.....                                                              | 233  |
| ข2 ลักษณะเส้นความหนืดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว.....                   | 236  |
| ข3 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเจล วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส.....                  | 234  |
| ข4 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเส้นขนมเงินวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส.....           | 239  |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|            |   |                                                          |
|------------|---|----------------------------------------------------------|
| NRF        | = | แป้งปกติ                                                 |
| FRF        | = | แป้งหมักปกติ                                             |
| ANF24      | = | แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม.                                |
| ANF48      | = | แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม.                                |
| ANF10      | = | แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 10 |
| ANF20      | = | แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 20 |
| ANF30      | = | แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 30 |
| ANF40      | = | แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 40 |
| ANF50      | = | แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 50 |
| XANF       | = | แป้งหมักผสมกัมแซนแทน                                     |
| CMCF       | = | แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี                                   |
| GUAF       | = | แป้งหมักผสมกัมกัวร์                                      |
| สูตรที่ 1  | = | ขนมจีนแป้งหมักปกติ                                       |
| สูตรที่ 2  | = | ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 10      |
| สูตรที่ 3  | = | ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 20      |
| สูตรที่ 4  | = | ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 30      |
| สูตรที่ 5  | = | ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 40      |
| สูตรที่ 6  | = | ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 50      |
| สูตรที่ 7  | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.1                    |
| สูตรที่ 8  | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.3                    |
| สูตรที่ 9  | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.5                    |
| สูตรที่ 10 | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.1                  |
| สูตรที่ 11 | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3                  |
| สูตรที่ 12 | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.5                  |
| สูตรที่ 13 | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ร้อยละ 0.1                     |
| สูตรที่ 14 | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3                     |
| สูตรที่ 15 | = | ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ร้อยละ 0.5                     |

## การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

### Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen Ready-To-Eat Fermented Kanomjeen Product

#### คำนำ

สังคมในสภาวะปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น พฤติกรรมการบริโภคที่ต้องการความสะดวกมากขึ้น ในสภาวะเร่งรีบ อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งจึงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ขนมจีนแช่เยือกแข็งเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค เป็นอาหารเส้นจากแป้งข้าวหมักที่ได้รับความนิยมมาช้านาน ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (อรอนงค์, 2547) การเก็บรักษาขนมจีนให้มีอายุการเก็บนานขึ้น มีสมบัติด้านสี และกลิ่นรสเหมือนเดิมหลังจากผลิตเสร็จใหม่ จำเป็นต้องใช้กระบวนการแปรรูปด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้ง คือ การเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ริโทรเกรเดชันภายในผลิตภัณฑ์ เกิดจากโมเลกุลเอมิโลส และเอมิโลเพกทินของสตาร์ชในแป้งที่ผ่านการเกิดเจลลาไทไนซ์ เคลื่อนที่มาจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลสตาร์ชเกิดการตกตะกอน ทำให้มีน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้เส้นมีความแข็งเปราะ ขาดความยืดหยุ่น และนิ่มขาดได้ง่าย ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การยับยั้งริโทรเกรเดชันสามารถทำได้โดยการขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของสายเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน การใช้แป้งดัดแปรสตาร์ชทางเคมีเชิงฟิสิกส์วิธีอบผานเนื้อ (Annealing) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเม็ดสตาร์ช สตาร์ชมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น มีความคงทนต่อการเกิดเจลลาไทไนซ์ การพองตัว และการละลายลดลง (Waduge *et al.* 2006) มีสมบัติด้านความหนืดเปลี่ยนแปลง ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคลดลง (Chiewcherngka and Naivikul, 2005) อาจส่งผลให้สตาร์ชมีความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น หรือการผสมกัน ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ และสามารถจับกับน้ำได้ดี เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการยับยั้งการเกิดริโทรเกรเดชัน (Lee *et al.*, 2002) สามารถคงสภาพที่ดีของเนื้อสัมผัสขนมจีนให้คงเดิมหลังคืนรูปจากเยือกแข็งได้ ส่งผลให้สามารถผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพ มีอายุการเก็บรักษายาวนาน เพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศได้ต่อไป

### วัตถุประสงค์

1. ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบพसानเนื้อ
2. หาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบพसानเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด
3. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และเปรียบเทียบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม
4. หาปริมาณ และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด
5. ตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมจีนแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก

## การตรวจเอกสาร

### 1. ขนมหุ้น

ขนมหุ้น (Kanomjeen) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเก่าแก่ของประชาชนชาวไทย บริโภคกันมาช้านานตั้งแต่สมัยอยุธยา และมีการผลิตเพื่อบริโภคในทุกภาคของประเทศ บริโภคแทนข้าวได้ในทุกมื้ออาหาร เป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรม และประเพณีของประชาชนชาวไทย ในทุกงานเทศกาลตั้งแต่งานบุญ ขึ้นบ้านใหม่ แต่งงาน งานพิธีต่างๆ ทำกันในระดับครัวเรือน หมู่บ้าน ชนบท หรือเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือน อุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ (อรอนงค์, 2547) ปัจจุบันขนมหุ้นมี 3 รูปแบบ (อรอนงค์, 2547) คือ

1.1 ขนมหุ้นแป้งหมัก เป็นขนมหุ้นที่มีผู้นิยมบริโภคกันมาก ผลิตจากข้าวที่มีการหมักไว้ 2-3 วัน มีเนื้อเหนียวนุ่ม สีเหลืองเล็กน้อย และกลิ่นหมัก

1.2 ขนมหุ้นแป้งสด เป็นขนมหุ้นที่ไม่ค่อยมีผู้บริโภคกันมากนัก ผลิตจากแป้งสดไม่ผ่านการหมัก มีเนื้อค่อนข้างขาว กระจ่าง ไม่มีกลิ่นหมัก

1.3 ขนมหุ้นแห้งถึงสำเร็จรูป ผลิตโดยการทำความสะดวก ปลายข้าวหรือเมล็ดข้าว แช่และหมักข้าว บดพร้อมน้ำ กรองแยกแป้ง นึ่งให้สุก นำมานวดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเส้นให้ได้ขนาดของเส้นประมาณ 1.3 มิลลิเมตร ตัด และจัดรูปเส้นอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน ได้เส้นขนมหุ้นที่สามารถขึ้นรูปด้วยการต้มภายใน 5-10 นาที

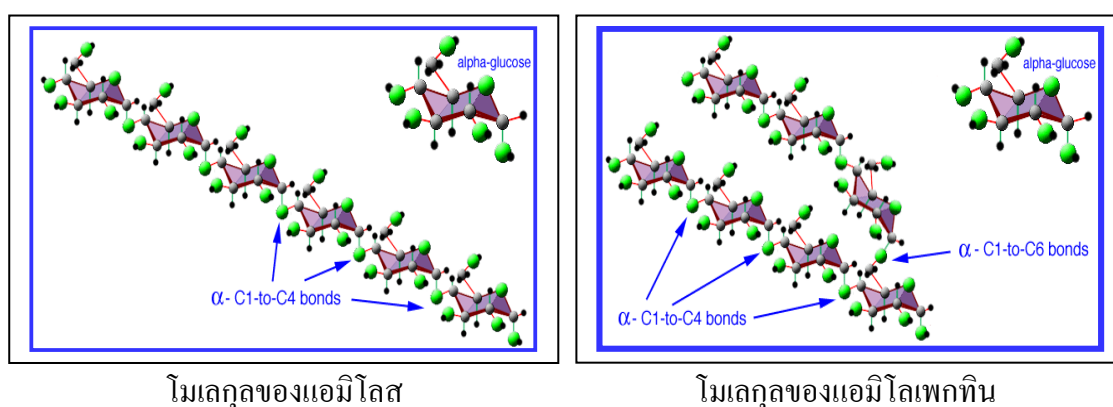
### 2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

2.1 ข้าว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. มีองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะที่แตกต่างกันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับธัญชาติชนิดอื่นๆ (อรอนงค์, 2547) ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างเมล็ดข้าวประกอบด้วยเปลือกหุ้มผล เปลือกหุ้มเมล็ด เนื้อเมล็ด และคัพภะในส่วนของเนื้อเมล็ดมีปริมาณมากที่สุด เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีเอาเปลือกออก ได้เมล็ดสีขาว เรียกว่าข้าวสาร ซึ่งประกอบด้วยสตราซ์เป็นองค์ประกอบหลัก คือมีอยู่ประมาณร้อยละ 90 สะสมอยู่ใน

รูปเม็ดสตาร์ช (Starch granule) เม็ดสตาร์ชข้าวมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดสตาร์ชจากธัญชาติชนิดอื่น (อรอนงค์, 2547) คือมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 ไมโครเมตร มีรูปร่างหลายเหลี่ยม และมีการเกาะตัวกัน (Compound starch) (Juliano, 1972) องค์ประกอบทางเคมีภายในข้าวมีความสำคัญต่อคุณภาพของขนมจีน ดังนี้

### 2.1.1 ปริมาณแอมิโลส

ในเมล็ดข้าวสารมีสตาร์ชประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก อยู่ในรูปเม็ดสตาร์ช ภายในเม็ดประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ แอมิโลส เกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4 กลูโคซิดิกเป็นสายยาว มีกิ่งน้อยมาก (ภาพที่ 1) และแอมิโลเพกทินเกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4 กลูโคซิดิก เป็นสายยาว มีกิ่งที่เชื่อมต่อกับพันธะ  $\alpha$ -1, 6 กลูโคซิดิก (ภาพที่ 1) ทั้งสองจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในเม็ดสตาร์ช (อรอนงค์, 2547)



ภาพที่ 1 โมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน

ที่มา : Blamire (2004)

ข้าวที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้คือ ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เนื่องจากหลังจากที่แป้งสุกตามกระบวนการผลิต และทำให้เย็นลง แป้งสุกเกิดภาวะการคืนรูป และจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นมีลักษณะเหนียวหยุ่น ไม่แฉะติดกัน (งามชื่น, 2541) โดยสมบัติของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินมีความแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติที่แตกต่างกันของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน

| สมบัติ                   | แอมิโลส                                                           | แอมิโลเพกทิน                                    |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ลักษณะโครงสร้าง          | สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส<br>เกาะกันเป็นเส้นตรง                    | สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส<br>เกาะกันเป็นเส้นกิ่ง |
| พันธะที่จับ              | แอลฟา-(1,4)                                                       | แอลฟา-(1,4) และแอลฟา-(1,6)                      |
| ขนาด                     | 200-2,000 หน่วยกลูโคส                                             | มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส                      |
| การละลาย                 | ละลายน้ำได้น้อย                                                   | ละลายน้ำได้ดี                                   |
| การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน | สีน้ำเงิน                                                         | สีม่วงแดง                                       |
| การจับตัว                | เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้ เกิด<br>การจับตัวเป็นวุ้น และแผ่นแข็ง | ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง                           |

ที่มา : Juliano (1971)

### 2.1.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ปริมาณมากเป็นอันดับที่สองรองจากคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีนมีความแตกต่างกันตามพันธุ์ข้าว และสามารถแบ่งตามความสามารถในการละลายได้เป็นแอลบูมิน (albumin) ซึ่งละลายได้ในน้ำ โกลบูลิน (globulin) ละลายได้ในเกลือ โปรลามิน (prolamin) ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และกลูเทลิน (glutelin) หรือออริซานิน (oryzenin) ละลายได้ในสารละลายที่มีความเป็นกรดเบสต่ำกว่า 3 และสูงกว่า 10 โปรตีนส่วนใหญ่ของข้าว คือ ออริซานิน มีอยู่ในปริมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมด และโปรตีนในข้าวมีไลซีน (lysine) ซึ่งเป็นกรดแอมิโนจำเป็น (essential amino acid) ในปริมาณมากที่สุด ไลซีนมีอยู่มากในส่วน of แอลบูมิน (albumin) รองลงไปคือ ในส่วนของออริซานิน (Juliano, 1972) โปรตีนเกาะอยู่บริเวณผิวของเมล็ดข้าว ทำให้เกิดประจุอยู่บนพื้นผิวเมล็ดข้าว มีผลต่อการกระจายตัว ส่งผลให้อัตราการพองตัวและอัตราการเกิดเจลลาที่ในซึ่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น (maillard reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดแอมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง ซี และกลีเซอรอลของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป (อรอนงค์, 2547)

### 2.1.3 ไชมัน

ไชมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ส่งผลต่อลักษณะของสตาร์ช โดยลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวของน้ำกับสตาร์ช เมื่อแป้งเกิดเจลาทิไนซ์ ไชมันรวมตัวกับเอมิโลส หรือรวมตัวกับสารประกอบเชิงซ้อนเลื่อย ทำให้มีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของขนมจีน นอกจากนี้กรดไชมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดสตาร์ชยังทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไชมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับเอมิโลสไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันของไชมันได้ (อรอนงค์, 2547)

2.2 น้ำ มีความสำคัญมากในขั้นตอนการผลิต เป็นตัวช่วยให้แป้งเกิดเจลาทิไนซ์ และทำให้เกิดลักษณะที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ น้ำที่ไม่สะอาดส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ขนมจีนมีสีคล้ำมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาดมีความกระด้างต่ำ ไม่มีสารแขวนลอย (ณรงค์, 2538)

2.3 เกลือ นิยมใช้เกลือเม็ดสีขาว สะอาด เพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักแป้ง ไม่ทำให้แป้งเกิดรส และกลิ่นเหม็นเปรี้ยวจนเกินไป (ณรงค์, 2538)

## 3. กระบวนการผลิตขนมจีน

กระบวนการผลิตขนมจีน แตกต่างไปตามแต่ละท้องถิ่น โดยมีหลักการที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้ (อรอนงค์, 2547)

3.1 การทำความสะอาด เป็นการกำจัดเอาสิ่งสกปรกออกจากเมล็ดข้าว เช่น กรวด หิน ทราย การทำความสะอาดข้าว มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไม่

3.2 การหมักข้าว ในระดับพื้นบ้าน มีการแช่ข้าวในน้ำ ประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้เกิดการหมักของจุลินทรีย์ ทำให้เส้นขนมจีนมีความเหนียวนุ่มมากยิ่งขึ้น มีกลิ่นหมักแป้ง

ในขั้นตอนการผลิตขนมจีนแบบหมักต้องควบคุมอุณหภูมิของข้าวระหว่างกระบวนการหมักให้อยู่ระหว่าง 34 – 40 องศาเซลเซียสโดยการล้างข้าวทุกวันเพื่อลดอุณหภูมิ และจุลินทรีย์ของการหมักลงไม่ให้เกิดการบูดเน่า และการล้างข้าวเป็นการควบคุมความเป็นกรด-เบสของข้าวระหว่างการหมักให้อยู่ระหว่าง 3.3-4.5

3.3 การโม่ และการกำจัดน้ำออกจากแป้ง ใช้โม่หินในการโม่ และใช้เครื่องกรองแบบใช้ความดันในการกำจัดน้ำ ในระดับพื้นบ้าน การกำจัดน้ำเรียกว่า ทับน้ำ โดยนำน้ำแป้งบรรจุในถุงผ้า เช่นถุงผ้าดิบ และใช้ของหนักทับค้างคืนไว้ อุณหภูมิของแป้งทับน้ำแล้วประมาณ 27-30 °ซ แป้งที่กำจัดน้ำออกแล้วมีลักษณะเป็นก้อน มีความชื้นประมาณร้อยละ 35-40 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก และเวลาที่ใช้ทับน้ำด้วย

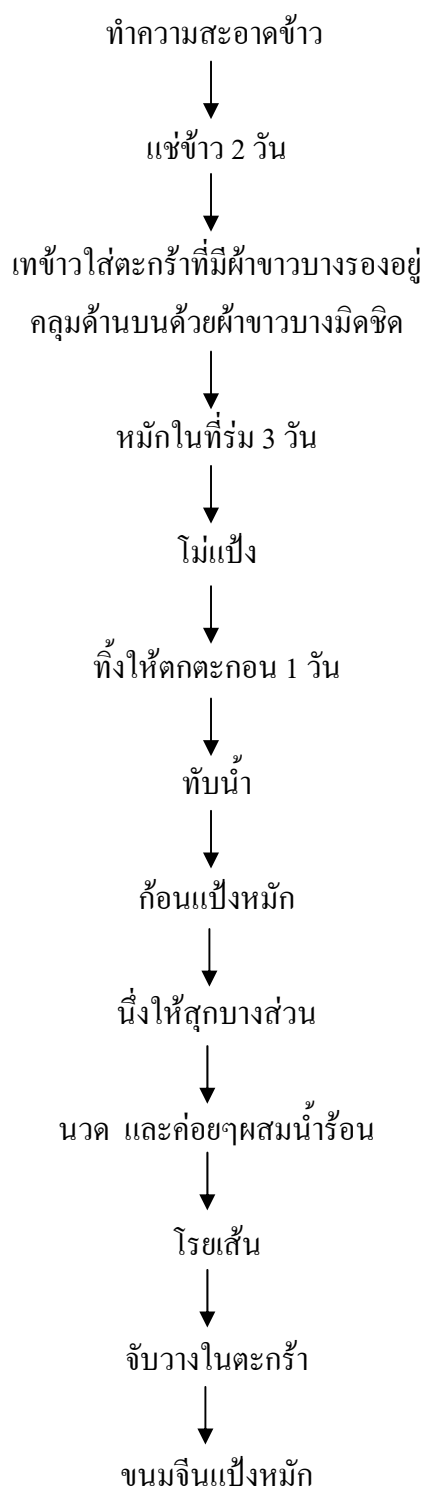
3.4 การตีผสม และการดัมแป้ง หรือการนึ่งแป้งเป็นการทำให้แป้งสุกบางส่วน มีกรรมวิธีโดยปั้นแป้งเป็นก้อนให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20-25 เซนติเมตร แต่ถ้าเป็นการทำในโรงงาน นิยมใช้วิธีนึ่งแป้งแทนการดัม ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชม หรือให้แป้งสุกบางส่วนคือ ให้แป้งสุกเข้าไปประมาณ 27-37 % ของก้อนแป้งทั้งหมด ไม่ควรให้แป้งสุกมากเกินไป เพราะแป้งอาจเหนียวมากจนยากต่อการโรยเป็นเส้น

3.5 การนวดแป้ง เป็นการนำเอาก้อนแป้งที่ดัมหรือนึ่งให้สุกบางส่วนมานวดให้ส่วนที่สุกประสานกับส่วนดิบเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะนวดมีการผสมน้ำให้แป้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 47-50 เพื่อช่วยในการนวด

3.6 การกรองแป้ง แป้งที่นวดเสร็จแล้ว นำมากรองเพื่อกำจัดแป้งสุกที่จับตัวเป็นก้อน ไม่สามารถนวดให้แตกได้ อาจทำให้เส้นขนมจีนมีเนื้อสัมผัสไม่สม่ำเสมอ

3.7 การโรยเส้น นำแป้งที่ผ่านการกรองแล้วใส่ถุงผ้าที่มีหน้าแวนเป็นรูเล็กๆ ค่อยๆบีบให้เส้นตกลงไปในน้ำเดือดอุณหภูมิประมาณ 95-98 °ซ รอจนกระทั่งเส้นขนมจีนลอยจึงตักออก

3.8 การทำให้เย็น และการจับเส้น เมื่อตักเส้นขนมจีนออกแล้ว นำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งทำให้เส้นหยุดการดูดน้ำ และขณะเดียวกันทำการจับเส้นขนมจีนเป็นจับๆวางในตะแกรง แล้วทิ้งให้เย็น เส้นขนมจีนหดตัวแห้ง และเหนียวขึ้น



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตขนมจีน

ที่มา : ภาควัตถน์ (2547)

นอกจากวิธีดังกล่าวแล้ว ได้มีการนำเอาแป้งคัดแปรวิธีพรีเจลาทีไนซ์ โดยการให้ความร้อนในสถานะที่มีน้ำมากเกินไป จนสตาร์ชเกิดเจลาทีไนซ์ และทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้ง อาจใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ (spray drier) หรืออาจใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูด หลังจากนั้นบดให้ละเอียด ก่อนนำไปใช้ ซึ่งแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่ได้สามารถกระจายตัวในน้ำเย็นในอุณหภูมิปกติ และให้ความข้นหนืดได้ทันที (Whistler *et al*, 1984) แล้วจึงนำมาทดแทนแป้งส่วนสูงในกระบวนการผลิตขนมจีน ทำให้ในกระบวนการผลิตสั้นลง มีความสะดวกขึ้น โดยไม่ต้องนำก้อนแป้งมาต้มให้สุกบางส่วนอีก สามารถนำแป้งหมัก แป้งพรีเจลาทีไนซ์ และน้ำผสมในอัตราส่วนที่พอเหมาะ นวดผสม บีบออกมาเป็นเส้นโรยในน้ำเดือดได้ทันที (ภควัฒน์, 2547)

อรอนงค์ และคณะ (2533) ผลิตเส้นขนมจีนจากแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ และทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์กับแป้งข้าวปกติ พบว่าใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ต่อแป้งข้าวปกติเป็นร้อยละ 15:85 และอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์สตาร์ชข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้า 15:30:55 เป็นสูตรที่เหมาะสม ให้ขนมจีนที่มีลักษณะที่ดีเหมือนขนมจีนสด และเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 สูตร ปรากฏว่า ได้ปริมาณจับขนมจีนไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองมีค่าการต้านแรงกดแตกต่างกัน ดังนั้นการผลิตขนมจีนจากการผสมแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ ทำให้ได้ขนมจีนลักษณะที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

#### 4. น้ำแกงขนมจีน

การรับประทานขนมจีนมีหลากหลายรูปแบบเช่น รับประทานกับน้ำแกงซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคของประเทศ นอกจากนี้ยังรับประทานร่วมกับผักสด ผักลวก และผักดองต่างๆ น้ำแกงขนมจีนที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้ (นิรนาม, 2550) คือ

4.1 น้ำยาปลา นิยมกันมากที่สุด น้ำยาข้น มีหอมกลิ่นเครื่องแกง มีรสหวานมันกะทิ ใช้ปลาช่อนสดทำให้เนื้อปลามีรสหวาน ไม่มีกลิ่นคาว เมื่อสุกแล้วเนื้อปลามีสีขาวฟู นิยมใช้กะทิคั้นสดเติมเครื่องแกงโขลกร่วมกับเนื้อปลา เติมน้ำตาลปี๊ป น้ำปลาตามต้องการ ส่วนน้ำยาปักษ์ใต้เป็นน้ำยาปลาอีกชนิดหนึ่ง ใช้เนื้อปลาทะเลสดมาทำ เช่น ปลาน้ำดอกไม้ ปลาดู เพราะเป็นปลาที่มีเนื้อมาก ใส่ขมิ้นในเครื่องแกงเพิ่มเพื่อบดกลิ่นคาว และให้สีเหลืองน่ารับประทาน รับประทานกับผักสด ผักดองนานาชนิด

4.2 น้ำพริก มี 3 รสคือเปรี้ยว หวาน เค็มมีมันสีแดงลอยหน้า น้ำแกงข้นด้วยเนื้อกุ้งและถั่วเขียวคั่วปั่น ใช้น้ำมันมะขามเปียกที่นำมาคั้นน้ำใหม่ เติมน้ำตาลปีบช่วยเพิ่มกลิ่นหอม ตามด้วยน้ำปลา กะทิ และพริกแกง รับประทานกับผักสด และผักผัดน้ำมัน รวมทั้งผักชุบแป้งทอดกรอบ

4.3 แจงลอน เป็นน้ำกะทิข้นใส่เนื้อปลาทรายสด และลูกชิ้น เพิ่มกลิ่นหอมด้วยรากผักชี กระเทียม และพริกไทย รับประทานร่วมกับสับปะรดรสหวานอมเปรี้ยว กุ้งแห้ง น้ำมันงา น้ำปลา

4.4 น้ำเงี้ยว เป็นน้ำยาของทางภาคเหนือ รสชาติออกเปรี้ยวจากมะเขือเทศ เค็ม และหวานจากกระดูกหมู เนื้อหมู เลือกใช้มะเขือส้มลูกกลมเล็ก มีรสเปรี้ยวเป็นพิเศษ หอมแดงเจียว และกระเทียมเจียวต้องเจียวใหม่ๆ ส่วนขนมจีนน้ำเงี้ยวของเชียงใหม่ใส่ดอกจี่ด้วย เพื่อเพิ่มความหอมและกรุบเวลาเคี้ยว

4.5 ขนมจีนน้ำยาปลาร้า หรือน้ำยาป่า มีรสเค็ม เผ็ด หอมกลิ่นปลาร้า และกระชาย ข้นด้วยเครื่องแกง และเนื้อปลาที่โขลก เลือกใช้ปลาร้าที่มีกลิ่นหอม กระชายคั่นอวบสด คล้ายน้ำยาปลา แต่ไม่ใส่กะทิ

4.6 แกงเขียวหวาน เป็นแกงกะทิชนิดหนึ่ง ใส่พริกแกงที่มีสีเขียวจากใบพริก หรือใบผักชี โขลก ใส่เนื้อสัตว์ เช่น ไก่ หมู เนื้อวัว และเนื้อปลาสด เป็นต้น

นอกจากนี้ยังอื่นๆอีกเช่น แกงไตปลา แกงกะทิไก่ เป็นต้น

## 5. อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งมีชื่อเรียกหลายชื่อเช่น precooked food, TV dinner, Ready-to-Eat เป็นต้น เป็นลักษณะอาหารที่ผ่านการปรุงเรียบร้อยแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที ผ่านการแช่เยือกแข็งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารให้ยาวนานขึ้น และบรรจุลงในภาชนะเป็นกล่องกระดาษเคลือบด้วยพอลิเอทิลีน (polyethylene) เนื่องจากกล่องกระดาษประเภทนี้สามารถป้องกันความชื้นได้ดี และสามารถนำผลิตภัณฑ์ไปอบในเตาไมโครเวฟ เพื่อทำการอุ่นอาหารได้ (Stoll *et al.*, 1977)

ในปัจจุบันมีการผลิตอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งออกมาจำหน่ายหลายรูปแบบ ทั้งในลักษณะอาหารคาว อาหารหวาน และอาหารว่าง

### 5.1 ประเภทของอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งแบ่งตามวิธีการปรุงทั้งอาหารสำเร็จรูป และกึ่งสำเร็จรูปได้ดังนี้ (สุวรรณ, 2533)

5.1.1 อาหารประเภททอด (Deep fried) อาหารประเภทนี้เป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูปแบบดิบหรือกึ่งสุกดิบ เช่น กุ้งชุบเกล็ดขนมปัง ปอเปี๊ยะ ไก่คลุกแป้งชุบเกล็ดขนมปัง เป็นต้น วิธีการปรุงโดยทอดในน้ำมันอุณหภูมิปานกลาง จนกระทั่งสุกทั้งภายนอก และภายใน ตามอุณหภูมิ และเวลาที่แนะนำจากโรงงานหรือวิธีการข้างาษณะ

5.1.2 อาหารประเภทนึ่ง (Steamed) อาหารประเภทนี้เป็นอาหารสำเร็จรูปเพราะจำเป็นต้องผ่านความร้อน เพื่อให้เกิดรูปร่างก่อนการแช่เยือกแข็ง เช่น ซาลาเปา ขนมจีบ และ สะเก๋า หรือ อาจเป็นอาหารกึ่งสุกดิบ เช่น แป้งสะเก๋า

5.1.3 อาหารประเภทย่างสัมผัสเปลวไฟ (Grilled) ส่วนมากเป็นอาหารสำเร็จรูป เช่น ยากิโทริ ไก่เสียบไม้ย่างแบบญี่ปุ่น หรืออาจเป็นของดิบเช่น บาร์บีคิวไก่ หรือกุ้ง

5.1.4 อาหารประเภทย่างภายใต้แสงอินฟราเรด (Roasted with infrared) เป็นอาหารสุก เช่น สะโพกไก่ย่าง (เนื้ออกไก่สตั๊ก) เช่น ไก่อบ น้ำแดงพร้อมข้าว หรือกับข้าวเพียงอย่างเดียว

5.1.5 อาหารประเภทต้ม (Boiled) เป็นของสุกเพราะเป็นการผ่านการต้มโดยตรง เช่น อาหารประเภทผักห่อเนื้อสัตว์ ไข่ทำแกงจืด

5.1.6 อาหารประเภทผัด (Pan fry) เป็นของสุก เช่น ข้าวผัด ซึ่งการแช่เยือกแข็งจำเป็นต้องแช่เยือกแข็งแบบแชกเมล็ด เพื่อป้องกันการติดกันของเมล็ด

## 5.2 รูปแบบของอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

วิบูลย์เกียรติ (2538) ได้แบ่งรูปแบบอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

5.2.1 ผลิตภัณฑ์เสนอบริการแก่ผู้บริโภคโดยตรง ได้แก่ อาหารที่จำหน่ายในร้านอาหารจานด่วนหรือโรงแรม มีลักษณะเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูป กล่าวคือ เป็นอาหารที่ผ่านการปรุงแต่งมาบ้างแล้ว สามารถทำให้สุกด้วยวิธีการง่ายๆ ภายในระยะเวลาสั้นก่อนการบริโภค ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้ได้แก่ ไก่ ปลา กุ้งหุบแป้ง และเกล็ดขนมปังป่น

5.2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำเร็จรูป (Ready-to-serve meal) หรืออาหารสะดวกซื้อ (Convenience food) เช่น คิมฉัม ปอเปี๊ยะ ซูริมิ ข้าวผัด และแกง ซึ่งศูนย์พาณิชยกรรมแฟรงก์เฟิร์ต (2536) รายงานว่า อาหารสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งนี้ เป็นที่นิยมในประเทศแถบยุโรป และจากการตรวจสอบ พบว่า มีผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับอาหารไทยสามารถเรียบเรียงได้ดังนี้

ก. อาหารทะเล เช่น กุ้งหุบแป้ง และเกล็ดขนมปังป่น ทอดมันปลา ปูอัด

ข. ข้าวผัดสำเร็จรูปแบบที่เรียกว่า ข้าวผัดสเปน (Spanish rice with seafood) เป็นอาหารเข้าผัดใส่อาหารทะเลหลายชนิด ได้แก่ ปลา หมึก หอยแมลงภู่ กุ้ง ปู หอยแครงผัดใส่ผงกะหรี่หอมใหญ่ พริกกระดิ่ง (Bell pepper) เกลือ น้ำ และน้ำมันมะกอก บรรจุขนาด 9 ออนซ์ เมื่อรับประทานต้องแช่ในน้ำร้อนประมาณ 10 นาที

ค. กว๊ายเต็ยราดน้ำซอส ประกอบด้วยเนื้อหมูหั่นขนาดเล็กๆ ทำสุกแล้วมีน้ำราดซึ่งประกอบด้วยเห็ดแชมปิญอง และแครอทหั่นบรรจุแยกเส้นก๊วยเต็ย เนื้อหมู และน้ำราดออกจากกัน ขนาดบรรจุประมาณ 400 กรัม เมื่อรับประทานต้องอุ่นในไมโครเวฟ

ง. ข้าวรับประทานกับไก่ผัดผงกะหรี่ (Huhnerfleisch) โดยมีข้าวสุกและไก่ผัด

ผงกะหรี่แยกออกจากกัน ผักแก่ลัมเป็นผักดองทำด้วยถั่วงอกผสมพริกกระดิ่งสีแดง และแครอทดองรวมกัน สามารถเตรียมก่อนรับประทานโดยอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายข้าวผัดสเปนสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง

จ. ซีนปลาราคน้ำซอสปรุงรสพร้อมแครอทและข้าวเรียกว่า Kabeljau-filet ซึ่งเป็นชื่อของปลา แต่ผู้ผลิตในประเทศไทยสามารถประยุกต์ใช้เนื้อปลาที่ส่งออกของไทยได้ การบรรจุคล้ายข้าวผัดสเปนสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง

ฉ. ลูกชิ้นเนื้อสับปรุงรสด้วยซอสพร้อมข้าว และผักแก่ลัมเรียกว่า Rinerrouclach

ช. เนื้อสัตว์เป็นชิ้นปรุงรสด้วยซอส รับประทานกับเส้นก๋วยเตี๋ยวและกะหล่ำปลีสีม่วงผัด

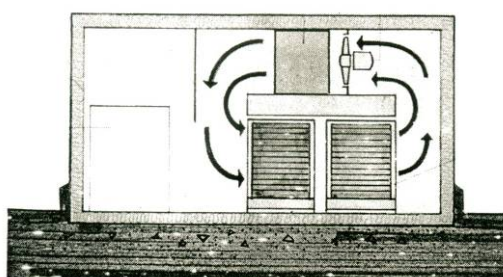
### 5.3 เทคโนโลยีการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นการทำให้อุณหภูมิของอาหารลดต่ำลงมากๆ เพื่อให้ น้ำที่มีอยู่ภายในอาหารกลายเป็นผลึกน้ำแข็งโดยมีการกำจัดความร้อนออกจากอาหาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเกิดนิวเคลียสผลึก (Nucleation phase) และขั้นตอนการเกิดการเติบโตของผลึก (Crystal growth phase) การเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งทำให้มีอายุการเก็บรักษานานและยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าการเก็บอาหารวิธีการแช่เย็น โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดผลึกน้ำแข็งในอาหารคือ อัตราการดึงความร้อนออกจากอาหาร ซึ่งหากเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก แต่เมื่อมีการดึงความร้อนออกจากอาหารอย่างช้าๆ อาจเกิดผลึกขนาดใหญ่ ส่งผลให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนแปลงไปสามารถแบ่งกระบวนการแช่เยือกแข็งได้ 4 วิธีดังนี้ (สายสนม และคณะ, 2546)

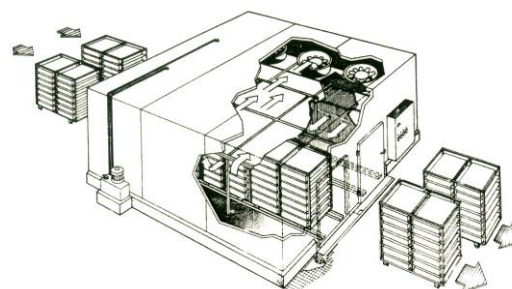
#### 5.3.1 การแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด (Air Brast Freezing)

เป็นวิธีการแรกที่ใช้ในทางการค้า โดยเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 ทำได้โดยการนำอาหารที่อาจห่อหุ้มด้วยภาชนะบรรจุหรือไม่ก็ได้ วางในห้องเย็นจัดที่ระดับอุณหภูมิ -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส บางครั้งเรียก การแช่เยือกแข็งแบบพัดลมเป่าอากาศเย็น (Sharp Freezing)

ซึ่งเป็นการหมุนเวียนอากาศภายในห้องเย็นเป็นแบบการพา (convection) ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงเป็นแบบการพาตามธรรมชาติ ทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งเป็นไปอย่างช้ามากใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งชิ้นอาหารให้ทั่วถึง ประมาณ 3-72 ชม การเพิ่มความเร็วของอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแช่เยือกแข็งได้ การบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์ชนิดที่สามารถกักเก็บอากาศไว้ภายในบรรจุภัณฑ์อาจส่งผลให้อัตราการแช่เยือกแข็งช้าลง เนื่องจากอากาศขัดขวางการถ่ายโอนความร้อนออกจากชิ้นอาหารในบรรจุภัณฑ์ดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตาม การบรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือการห่อหุ้มชิ้นอาหารด้วยฟิล์มพลาสติกสามารถลดปัญหาดังกล่าวลงได้ โดยทั่วไปชนิดของเครื่องมือแช่เยือกแข็งประเภทนี้ แบ่งออกเป็น แบบไม่ต่อเนื่อง (batch freezer) ได้แก่ เครื่องแช่เยือกแข็งแบบห้องเดินเข้าได้ (walk-in cold room), เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์คงที่ (stationary tunnel) และเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเลื่อนผ่านอุโมงค์ทีละชุด (push-trough tunnel) (Karel and Lund, 2003) แสดงดังภาพที่ 3



(ก) แบบอุโมงค์คงที่



(ข) แบบเลื่อนผ่านอุโมงค์ทีละชุด

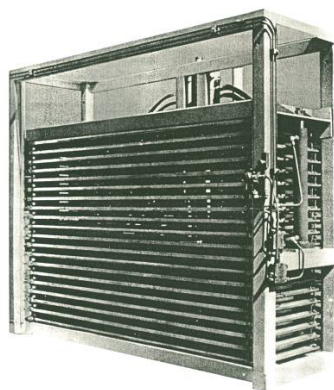
ภาพที่ 3 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดชนิดต่าง ๆ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mallett (1993) และ Heldman and Hartel (1997)

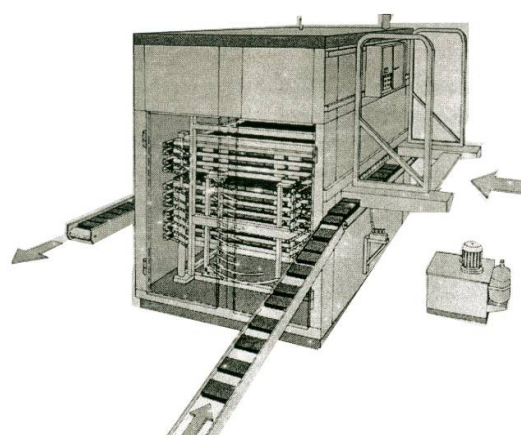
### 5.3.2 การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด (Contact Plate Freezing)

เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งโดยการนำชิ้นอาหาร มาวางบนแผ่นโลหะกลวง อาจวางเฉยๆ หรือใช้แรงกดช่วย ระหว่างแผ่นโลหะ 2 ชั้น ภายในช่องว่างของแผ่นโลหะทำให้เย็นโดยใช้สารทำความเย็นที่ถูกเปลี่ยนจากไอเป็นของเหลว โดยการอัดด้วยความดันผ่านเครื่องคอมเพรสเซอร์ (compressor) (ภาพที่ 4) ของเหลวที่ได้ผ่านเครื่องควบแน่น เพื่อลดอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพของเหลวเย็นจัด ไหลผ่านเข้าไปในช่องว่างของแผ่นโลหะ ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากชิ้นอาหารที่วางสัมผัสแผ่นโลหะ สารทำความเย็นที่ใช้ได้แก่ ฟรอน - 12 ฟรอน - 22 และ แอมโมเนีย (สายสนม และคณะ, 2546) เครื่องแช่เยือกแข็งชนิดนี้นิยมใช้ในการแช่เยือกแข็งอาหาร

เพียงบางส่วนก่อนการเข้าสู่กระบวนการแช่เยือกแข็งแบบอื่นต่อไป เช่น การแช่เยือกแข็งไอศกรีม นิยมใช้การแช่เยือกแข็งบางส่วนด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดมีใบพัด ขูด (scraped surface heat exchanger) ก่อนการบรรจุ และแช่เยือกแข็งต่อด้วยเครื่องแช่เยือกแข็ง แบบลมเป่า (Karel and Lund, 2003)



(ก) แบบแผ่นสัมผัสแนวนอน



(ข) แบบแผ่นสัมผัสอย่างต่อเนื่อง

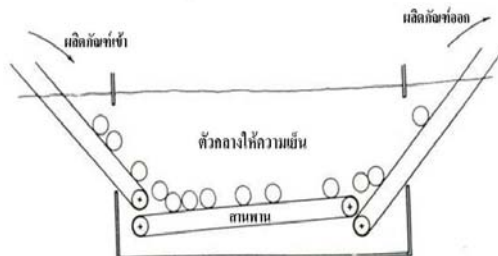
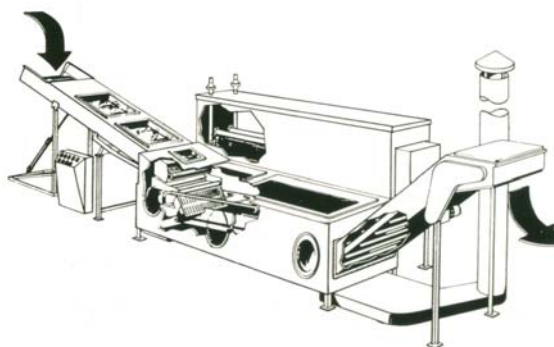
**ภาพที่ 4** เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mallett (1993)

### 5.3.3 การแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (Liquid-Immersion Freezing)

การแช่เยือกแข็งแบบนี้ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแช่เยือกแข็งมาห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์ หรืออาจไม่มีการห่อหุ้มเลย จุ่มลงในถังของเหลวที่คงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่านั้น และต้องไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีผลกระทบต่อ องค์ประกอบ และคุณลักษณะของอาหาร แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ การทำให้สารทำความเย็น สัมผัสกับอาหารโดยตรง อาจส่งผลให้คุณภาพของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบรรจุอาหารลงในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมก่อน ซึ่ง อาจเป็นผลให้การถ่ายโอนความร้อนออกจากอาหารเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ขัดขวาง การถ่ายโอนความร้อน และนอกจากนี้บรรจุภัณฑ์จำพวกโลหะอาจถูกกัดกร่อนจากตัวกลางให้ความ เย็นได้อีกด้วย (Karel and Lund, 2003) ของเหลวที่ใช้เพื่อการนี้เรียกว่า สารเยือกแข็ง (freezant) หรืออาจทำได้โดยการฉีดพ่นสารเยือกแข็งลงในอาหารนั้น หรืออาจกระทำได้ 2 แบบคือจุ่มและพ่น ในขณะเดียวกัน (ภาพที่ 5) และการกระทำดังกล่าวอาจทำแบบต่อเนื่องตลอดกระบวนการ สารเยือก

แข็งที่นิยมใช้ได้แก่ สารละลายของเกลือโซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ กลีเซอรอล น้ำตาล เกลือ เป็นต้น (สายสนม และคณะ, 2546)



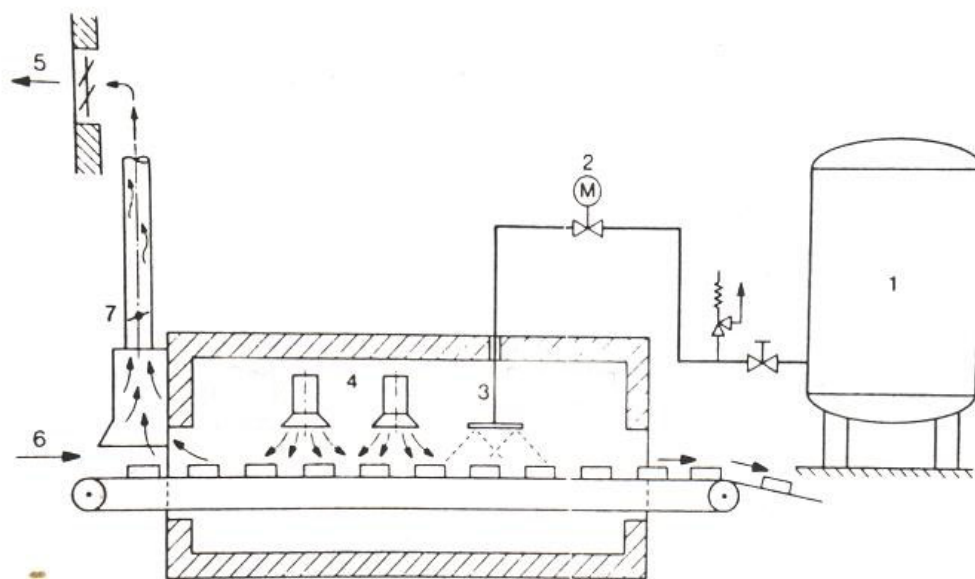
(ก) เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มชั้นอาหารลงในตัวกลางให้ความเย็น (ข) แบบจำลองของเครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มชั้นอาหารลงในตัวกลางให้ความเย็น

ภาพที่ 5 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด

ที่มา : Singh and Heldman (1993)

#### 5.3.4 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (Cryogenic Freezing)

เป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วยิ่งยวด (ultra rapid freezing rate) ทำได้โดยการนำเอาสิ่งที่ต้องการแช่เยือกแข็งโดยมีการห่อหุ้มด้วยพลาสติกชนิดบาง หรืออาจไม่ห่อหุ้ม มาลดอุณหภูมิลงบางส่วน (precooling) หลังจากนั้นทำการจุ่มลงไนโตรเจนเหลว แสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งสามารถทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงได้อย่างรวดเร็ว ข้อเสียของวิธีนี้คือ การดึงความร้อนออกจากอาหารอย่างรวดเร็วอาจทำให้ชั้นอาหารแตกออก เกิดความเสียหายได้ (สายสนม และคณะ, 2546)



1 = ถังไนโตรเจนเหลว, 2 = วาล์วปิดเปิด, 3 = เข็มสเปรย์, 4 = พัดลม,  
5 = ช่องปล่อยไนโตรเจนออก, 6 = ทางเข้าตัวอย่าง และ 7 = วาล์วผีเสื้อควบคุม

ภาพที่ 6 แบบจำลองการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mallett (1993)

การลดอุณหภูมิของชิ้นอาหารลงบางส่วน อาจช่วยลดการแตกของอาหารได้ การดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์โดยการแช่เยือกแข็งวิธีนี้เป็นไประหว่างการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นโครโอเจนิกจากของเหลวเป็นก๊าซ ซึ่งเป็นจุดที่ต่างจากวิธีการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มโครโอเจนิกที่นิยมใช้ได้แก่ ไนโตรเจนเหลวคาร์บอนไดออกไซด์เหลว คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง และไนตรัสออกไซด์ ฯลฯ (Mallett, 1993)

#### การคืนรูปผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง

การคืนรูปผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง หมายถึง กระบวนการที่ตรงข้ามกับการแช่เยือกแข็ง จัดเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ละลายกลับคืนสู่สภาพเดิม โดยเวลาที่ใช้ในการคืนรูปอาหารแช่เยือกแข็งเป็นเวลาที่เริ่มจากจุดที่อาหารมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการเก็บรักษา จนถึงจุดที่ไม่มีผลึกน้ำแข็งคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ หรืออาจอธิบายได้ว่า เป็นเวลาที่อุณหภูมิใจกลางของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1 หรือ 0 องศาเซลเซียส การคืนรูปของอาหารแช่เยือกแข็งสามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้คือ (สายสนม และคณะ, 2546)

#### 5.4.1 การหมุนเวียนของน้ำเย็น

กระทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง มาแช่ลงในภาชนะที่มีน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 20 °ซ โดยให้น้ำนั้นหมุนเวียนตลอดเวลา เพื่อช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ดีขึ้น และช่วยรักษาอุณหภูมิของผิวหนังอาหารไม่ให้สูงเกินไป แต่วิธีนี้อาจทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารบางชนิดที่ละลายน้ำได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย และยังเป็นที่ยอมรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

#### 5.4.2 การใช้เตาอบ

วิธีนี้นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านวิธีการหุงต้มโดยการอบให้สุกไปพร้อมกันกับการคืนรูป แล้วนำไปรับประทาน

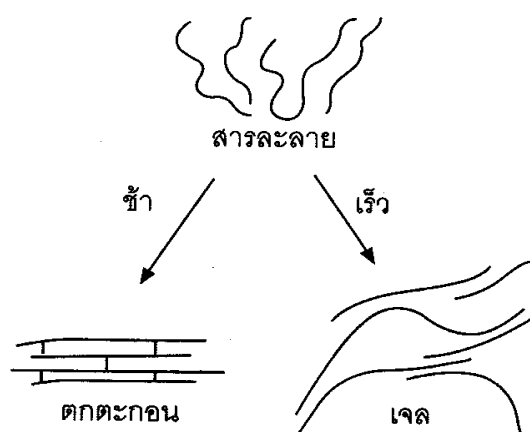
#### 5.4.3 การใช้ไมโครเวฟ

เป็นการอาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นจากช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระดับไมโครเวฟ วิธีนี้ประหยัดเวลา และเนื้อที่ได้มาก สามารถจัดทำเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่องได้ดี การสูญเสียน้ำที่ไหลเยิ้มออกมาจากอาหารน้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์อาหาร ไม่ต้องสัมผัสกับของเหลวอื่นที่ทำให้สูญเสียคุณค่า แต่เป็นวิธีที่ต้องลงทุนสูง

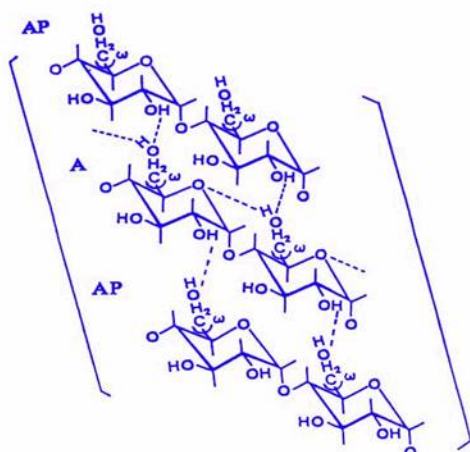
### 6. การเสื่อมเสียสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก

อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน เส้นหมี่ และขนมปัง เป็นต้น ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ เช่น โปรตีน ไขมัน และสารอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด คือ คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเม็ดสตาร์ช ภายในประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่สองชนิด คือ แอมิโลส เกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4 กลูโคซิดิก เป็นสายยาว มีกิ่งน้อยมาก และแอมิโลเพกทิน แสดงดังภาพที่ 1 เกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4 กลูโคซิดิก เป็นสายยาว มีกิ่งที่เชื่อมต่อด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 6 กลูโคซิดิก ทั้งสองจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในเม็ดสตาร์ช เมื่อให้ความร้อนกับอาหารประเภทสตาร์ช และน้ำเป็นองค์ประกอบ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น โมเลกุลของ

แอมิโลสค่อยๆซึมผ่านเมล็ดสตาร์ชออกมา เมื่อเมล็ดสตาร์ชพองตัวสูงสุด และเกิดการแตกออก เรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดเจลาทีไนเซชัน ทำให้แป้งสุก ภายในเจลแป้งมีแอมิโลส และแอมิโลเพกทินกระจายอยู่ทั่ว หลังจากนั้น เมื่ออุณหภูมิลดลงเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (อรอนงค์, 2547) แสดงดังภาพที่ 7 โมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแอมิโลส แสดงดังภาพที่ 8 เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดที่คงตัวมากขึ้น เป็นภาวะที่เรียกว่าเจลเลชัน เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีก ลักษณะของโครงสร้างแน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในถูกบีบออกมาจากเจล ซึ่งเรียกว่า การสูญเสียน้ำของเจล (syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความหนืดเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2547)



ภาพที่ 7 กลไกการคืนรูปของเจลแป้ง  
ที่มา : Anuntavuttikul (2001)



ภาพที่ 8 การจับกันของโมเลกุลสตาร์ชภายหลังการเกิดรีโทรเกรด  
ที่มา : Shirley (1982)

การเกิดรีโทรเกรดของอาหารประเภทแป้ง ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง ขึ้นส่วนอนุภาคที่ไม่ละลายในเจลที่ร้อนเกิดการตกตะกอน ทำให้โมเลกุลน้ำถูกบีบออกมาจากเจล การเกิดรีโทรเกรดของอาหารประเภทแป้ง เมื่อเกิดขึ้นช้าเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเจลขุ่น (อรอนงค์, 2547)

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เจลเกิดรีโทรเกรดขึ้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการลดความร้อน อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณแอมิโลส-แอมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆของแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ เจลแป้งความเข้มข้นสูงสามารถเกิดรีโทรเกรดได้ดีในช่วงความเป็นกรดเบส 5-7 สำหรับในช่วงความเป็นกรดเบสสูง หรือต่ำกว่านี้ เจลแป้งคืนรูปได้ช้าลง ในการชะลอการคืนรูปของเจลแป้งอาจใช้เกลือที่มีประจุลบ หรือบวก (monovalent anion และ cation), เช่น แคลเซียม ไนเตรต และยูเรีย เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

ปริมาณ และขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้ง แป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงเกิดรีโทรเกรดชันมาก และมีอัตราการเกิดรีโทรเกรดสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) ส่วนแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพกทินสูง มีผลให้เกิดรีโทรเกรดได้น้อยมาก แสดงดังภาพที่ 9 ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวส่งผลให้อาหารประเภทแป้งที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งมีลักษณะผิดปกติไปจากเดิม เช่น ข้าวแช่เยือกแข็ง หลังการคืนรูปแล้วข้าวอาจมีความแข็งกระด้างมากขึ้น ในอาหารเส้น นอกจากทำให้เส้นแข็งกระด้างแล้ว ยังส่งผลให้ความเหนียวนุ่มของเส้นลดลง เส้นมีความกระด้าง

และขาดได้ง่าย (อรอนงค์, 2547) นอกจากนี้อัตราความเร็วในการแช่เยือกแข็งยังมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรดอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรเกรดมีน้อยลง เกิดจากเมื่ออัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่สายโมเลกุลของเอมิโลสจับกันเกิดเป็นร่างแหน้อยลง จึงทำให้การเกิดรีโทรเกรดลดลงด้วย (Varavinit, 2002)

## 7. การยับยั้งการเกิดรีโทรเกรด

การเกิดรีโทรเกรดเกิดจาก หลังการเกิดเจลลาทีไนซ์ เมื่ออุณหภูมิของเจลแข็งลดลง เอมิโลสที่กระจายทั่วเจล เกิดการเคลื่อนที่มาใกล้กัน และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุล เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย เมื่อสายโมเลกุลเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทินใกล้กันมากขึ้น น้ำถูกบีบออกมา ส่งผลให้อาหารประเภทแข็งมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป (อรอนงค์, 2547) การยับยั้งการเกิดรีโทรเกรดสามารถทำได้โดยการขัดขวางการเกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างโมเลกุลเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทิน การดัดแปรสตาร์ชีวธิ์อบผสานเนื้อเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการเกิดรีโทรเกรดได้ Gomes *et al.* (2005) ทดลองอบผสานเนื้อเป้งมันสำปะหลัง พบว่า เป้งมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น คงทนต่อการเกิดเจลลาทีไนซ์มากขึ้น มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ลดการเกิดรีโทรเกรดชั้นในเจลจากเป้งหลังการเกิดเจลลาทีไนซ์ได้ นอกจากนี้การใช้กัมซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ สามารถจับกับน้ำได้ดี อาจสามารถลดการเกิดรีโทรเกรด และการสูญเสียน้ำของเจลเป้งได้ Lee *et al.* (2002) ทดลองนำกัมโซเดียมแอลจิเนต (sodium alginate), คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (carboxymethyl cellulose), เคิร์ดแลน (curdian), เจลแลน (gellan), กัมถั่ว (guar gum), กัมอารบิก (arabic gum), โพลีแซคคาไรด์ คาร์ราจีแนน (k-carrageenan), กัมโลกัสปีน (locust bean gum) และกัมแซนแทน (xanthan gum) มาใช้ในการลดการเกิดรีโทรเกรดชั้นในเจลสตาร์ชีที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 7 ปรากฏว่า กัมถั่วสามารถลดการสูญเสีย (syneresis) ซึ่งเป็นผลจากการเกิดรีโทรเกรดชั้นของเจลเป้งแช่เยือกแข็งได้ดีที่สุด รองลงมาเป็น โซเดียมแอลจิเนต และกัมแซนแทนตามลำดับ

ก่อนการแช่เยือกแข็ง



เจลแป้งข้าวเจ้า

หลังคืนรูปจากเยือกแข็ง



เจลแป้งข้าวเจ้า



เจลแป้งข้าวหอมดอกมะลิ



เจลแป้งข้าวหอมดอกมะลิ



เจลแป้งข้าวเหนียว



เจลแป้งข้าวเหนียว

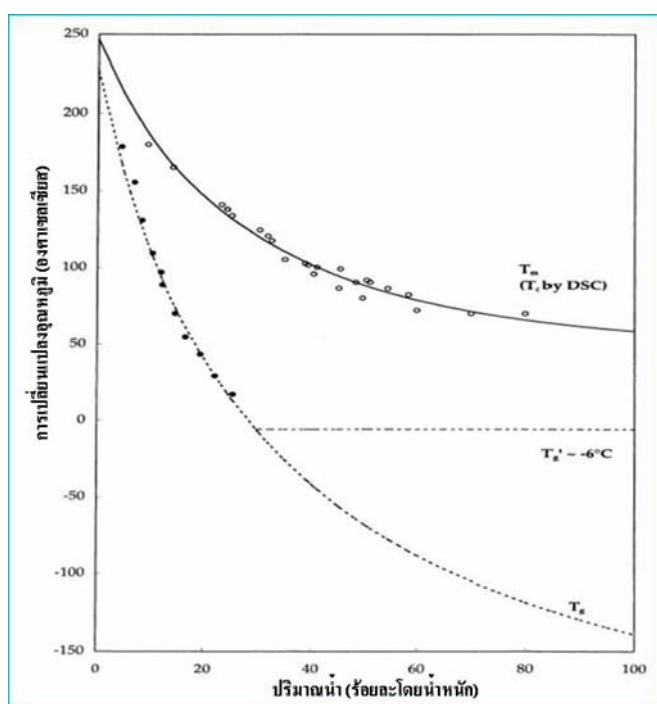
**ภาพที่ 9** เจลแป้งผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 5  
ที่มา : Anuntavuttikul (2001)

## 8. การดัดแปรสสารในแป้งวิธอบผานเนื้อ

การอบผานเนื้อเป็นการดัดแปรสสารในแป้งทางฟิสิกส์ โดยมีการควบคุมปริมาณแป้ง น้ำ อุณหภูมิ และเวลาในการดัดแปร มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเม็ดสสาร (Jacob and Delcour, 1998)

### 8.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบผานเนื้อมีดังนี้

8.1.1 อุณหภูมิ ในการอบผานเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดของสสาร โดยอุณหภูมิการอบต้องสูงกว่าอุณหภูมิของสสารสถานะ (glass transition) ของสสารแต่ละชนิด เม็ดสสารสถานะที่กระจายในน้ำเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในสภาวะออสถาน (rubbery) องค์ประกอบภายในเม็ดสสารสามารถเคลื่อนที่ได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในขึ้น และอุณหภูมิต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในน้ำของเม็ดสสาร แสดงดังภาพที่ 10 ซึ่งขึ้นอยู่กับสสารแต่ละชนิดเช่นกัน หากสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในน้ำ ทำให้เม็ดสสารแตก และเสียสภาพไป อุณหภูมิการอบผานเนื้อที่เหมาะสมกับสสารแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2 (Tester and Debon, 2000)



ภาพที่ 10 สภาวะการดัดแปรสสารทางเคมีเชิงฟิสิกส์ด้วยความร้อน

ที่มา : Tester and Debon (2000)

**ตารางที่ 2** สภาวะการอบผานเนื้อสัตว์แต่ละชนิด

| สัตว์                  | อุณหภูมิ (°ซ) | เวลา (ชม)   | ปริมาณน้ำ (ร้อยละ) |
|------------------------|---------------|-------------|--------------------|
| แอมารันท์ (Amaranth)   | 45-55         | 2/12        | มากเกินไป          |
| ข้าวบาร์เลย์ปกติ       | 25-50         | 24/72       | มากเกินไป          |
| ข้าวบาร์เลย์เหนียว     | 45/55         | 72          | มากเกินไป          |
| ข้าวบาร์เลย์แอมิโลสสูง | 52            | 2/48        | มากเกินไป          |
| ข้าวโพดปกติ            | 50/55         | 2-48        | มากเกินไป          |
| ข้าวโพดเหนียว          | 50            | 48          | มากเกินไป          |
| ข้าวโพดแอมิโลสสูง      | 50-70         | 2-72        | มากเกินไป          |
|                        | 30-50         | 24          | 50                 |
| เลนทิล (Lentil), โอต   | 50            | 0.5-72      | มากเกินไป          |
| ถั่ว                   | 50-56         | 24          | มากเกินไป          |
| มันฝรั่ง               | 52            | 0.5         | มากเกินไป          |
|                        | 50-60         | 72          |                    |
| ข้าวปกติ               | 40            | 114         | มากเกินไป          |
| ข้าวเหนียว             | 55-65         | 72          | มากเกินไป          |
|                        | 50            | 1 (สัปดาห์) | 40 – มากเกินไป     |
|                        | 55            | 2-24        | มากเกินไป          |
|                        | 50            | 15-24       | มากเกินไป          |
| ข้าวไรย์               | 45            | 16          | มากเกินไป          |
|                        | 50            | 1           | มากเกินไป          |
| ข้าวสาลี               | 50            | 72          | มากเกินไป          |
|                        | 40/50         | 24/72       | 55                 |
|                        | 40            |             | มากเกินไป          |
|                        | 45-53         |             | มากเกินไป          |

ที่มา : Jacob and Delcour (1998)

Tsutsui *et al.* (2005) ตรวจสอบผลของอุณหภูมิการอบผานเนื้อ 25, 48, 55, 58, 60, 62, 65, 68, 70 และ 73°ซ ต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลาตินไนซ์ของสัตว์ข้าว ได้ผลว่าเมื่ออุณหภูมิการอบผานเนื้อสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินไนซ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันอุณหภูมิการอบผานเนื้อที่สูงขึ้นยังส่งผลให้ฟิสิกของกราฟเอนทัลปีกว้างออก แสดงว่าความสม่ำเสมอของผลึกสัตว์ลดลง อุณหภูมิ 45 และ 55 °ซ มีค่าปริมาณการซึมผ่านของแอมิโลสใกล้เคียงกับแป้งปกติ

ในทุกอุณหภูมิ ขณะที่อุณหภูมิการอบผานเนื้อ 58-73 ° ซ มีค่าปริมาณการซึมผ่านของเอมิโลส และค่ากำลังการพองตัวมากกว่าแป้งปกติในทุกอุณหภูมิ

สุภาวดี และปริศนา (2550) ตรวจสอบอุณหภูมิสถานะพื้นฐาน (glass transition) ของ สตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ปรากฏว่า สตาร์ชข้าวมีอุณหภูมิสถานะพื้นฐานเริ่มต้น 41.12 ° ซ อุณหภูมิสถานะพื้นฐานจุดกลาง 50.43 ° ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เม็ดสตาร์ชข้าวอยู่ในสภาวะออสันฐาน (rubbery) จึงใช้อุณหภูมิดังกล่าวในการอบผานเนื้อสตาร์ชข้าว

8.1.2 ปริมาณน้ำ ต้องอยู่ในช่วง 40-50 % โดยน้ำหนัก น้ำเป็นสารตัวพาในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสายโมเลกุลเอมิโลส และเอมิโลเพกทินเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของหมู่ไฮดรอกไซด์ของโมเลกุลกลูโคสทำให้พันธะไฮโดรเจนเกิดการเสื่อมสภาพ ช่วยให้เม็ดสตาร์ชอยู่ในสภาวะออสันฐาน เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเม็ดสตาร์ชได้มากขึ้น (Jacob and Delcour, 1998)

8.1.3 เวลา ในการอบผานเนื้อ เวลาที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ช Kiseleva *et al.* (2004) ได้ทดลองเปรียบเทียบเวลาในการอบผานเนื้อ (0, 0.5 และ 4 ชม) ข้าวบาร์เลย์ปริมาณเอมิโลสสูง และต่ำ ตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ได้ผลว่า เมื่อระยะเวลาในการอบผานเนื้อสูงขึ้น ความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Gomes *et al.* (2004) ตรวจสอบความเป็นผลึกของสตาร์ชมันสำปะหลังอบผานเนื้อเวลา 24, 48, 96 และ 120 ชม ได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น ความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น

8.1.4 ชนิดของสตาร์ช มีผลต่อความเป็นผลึก เช่น สตาร์ชที่มีลักษณะความเป็นผลึกจากการตรวจสอบด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ชนิด A, ชนิด B ชนิด C และชนิด V แต่ละชนิดมีความแข็งแรงของผลึกสตาร์ชแตกต่างกัน Jacob *et al.* (1995) ได้ทดลองเปรียบเทียบผลของการอบผานเนื้อสตาร์ชถั่ว สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวสาลี และสตาร์ชข้าว ที่ 50° ซ เป็นเวลา 24 ชม ตรวจสอบการซึมผ่านของเอมิโลส สภาวะมีน้ำมากเกินไป อุณหภูมิ 50-90 ° ซ ปรากฏว่า สตาร์ชถั่ว และสตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการอบผานเนื้อ มีปริมาณการซึมผ่านของเอมิโลส น้อยกว่าสตาร์ชปกติ ในขณะที่สตาร์ชข้าวสาลี และสตาร์ชข้าวอบผานเนื้อ มีปริมาณการซึมผ่านของเอมิโลสใกล้เคียงกับสตาร์ชปกติ เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานการสลายพันธะด้วยเครื่องดิฟเฟอ

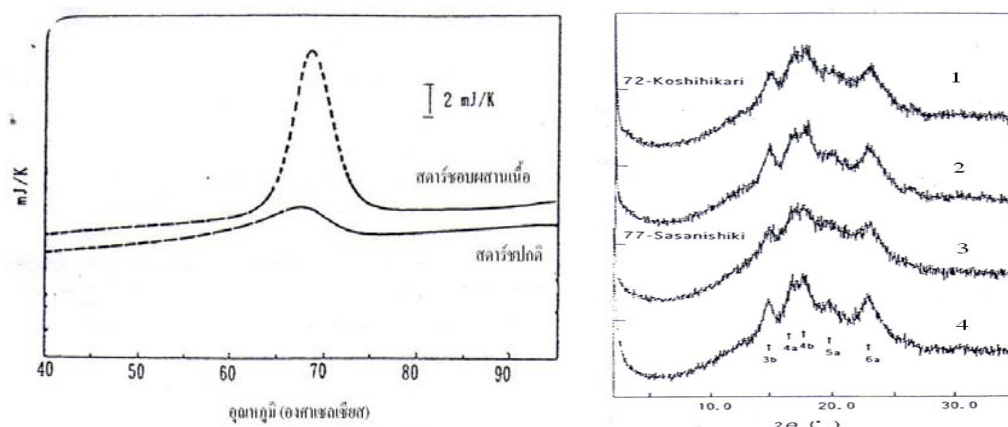
เรนเทียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ได้พบว่า สดาร์ชอบผสานเนื้อจากถั่ว มันสำปะหลัง ข้าวสาลี และข้าวมีค่าพลังงานในการสลายพันธะ( $\Delta H$ ) มากกว่าสดาร์ชปกติของแต่ละชนิด

## 8.2 ผลของการอบผสานเนื้อต่อสมบัติของเม็ดสดาร์ช

การอบผสานเนื้อมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสดาร์ช เช่น สมบัติด้านความหนืด เทอร์โมไดนามิกส์ ความเป็นผลึกของสดาร์ช กำลังการพองตัว และร้อยละการละลายของสดาร์ช โดยมีงานวิจัยดังนี้

Jacob *et al.* (1995) ทดลองอบผสานเนื้อสดาร์ชถั่ว มันฝรั่ง ข้าวสาลี และข้าว อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นร้อยละ 66 เป็นเวลา 24 ชม การอบผสานเนื้อทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลทีไนซ์ของสดาร์ชเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานสลายพันธะเพิ่มขึ้นจากสดาร์ชปกติ การซึมผ่านของแอมิโลสออกจากเม็ดสดาร์ชระหว่างการให้ความร้อนในสภาวะมีน้ำมากเกินไปมีค่าลดลงจากสดาร์ชปกติ

Yamamoto and Shirakawa (1999) อบผสานเนื้อสดาร์ชข้าวเจ้าปอนิกา และอินดิกา อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 24 ชม. ปริมาณความชื้นร้อยละ 60 ตรวจสอบค่าพลังงานสลายพันธะ และความเป็นผลึก ปรากฏว่า สดาร์ชข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด ค่าพลังงานสลายพันธะ และความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจากสดาร์ชปกติ แสดงดังภาพที่ 11



สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

ความเป็นผลึกของสตาร์ช

ภาพที่ 11 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ และความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าว

1 = สตาร์ชจาปอนิกาปกติ 2 = สตาร์ชจาปอนิกาอบผานเนื้อ

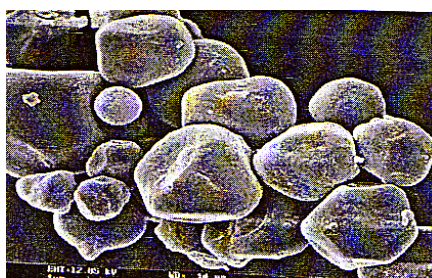
3 = สตาร์ชอินดิกาปกติ 4 = สตาร์ชอินดิกาอบผานเนื้อ

ที่มา : Yamamoto and Shirakawa (1999)

Adebowale *et al.* (2005) ทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชข้าวฟINGER MILLET (Finger millet) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 48 ชม. ปรากฏว่า การอบผานเนื้อทำให้สตาร์ชข้าวฟINGER MILLET มีสมบัติด้านความหนืดลดลงจากสตาร์ชปกติ อุณหภูมิเจลาไทไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะเพิ่มขึ้น เมื่อส่องดูขนาดเม็ดสตาร์ชอบผานเนื้อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า ได้ผลว่าเม็ดสตาร์ชอบผานเนื้อยังคงมีขนาด และรูปร่างเหมือนเดิม แสดงดังภาพที่ 12



สตาร์ชอบผานเนื้อ



สตาร์ชปกติ

ภาพที่ 12 เม็ดสตาร์ชข้าวฟINGER MILLET ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กำลังขยาย 3,000 เท่า

ที่มา : Adebowale *et al.* (2005)

Chiewcherngka and Naivikul (2005) ทดลองอบผสานเนื้อแป้งข้าวพันธุ์เหลือง 11 เวลา 4, 12, 24 และ 48 ชม อุณหภูมิ 55 °ซ ปริมาณความชื้นร้อยละ 66 ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้ง ปรากฏว่า เมื่อระยะเวลาการอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคลดลงจากเจลแป้งปกติ

สอดคล้องกับการอบผสานเนื้อสตาร์ชในพืชหัว งานวิจัยของ Gomes *et al.* (2005) ตรวจสอบสมบัติต่างๆของสตาร์ชมันสำปะหลังหมัก ผ่านการอบผสานเนื้อที่ 50 °ซ เป็นเวลา 0, 72, 96, 144 และ 240 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 80 เปรียบเทียบกับสตาร์ชหมักปกติได้ผลว่า เมื่อเวลาในการอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น สตาร์ชหมักอบผสานเนื้อมีการก่อตัวของเม็ด และร้อยละการละลายลดลง ตรวจสอบค่าพลังงานในการสลายพันธะด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ อุณหภูมิการเกิดเจลที่ในซ์ และค่าพลังงานในการสลายพันธะมีค่าเพิ่มขึ้น และตรวจสอบความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ให้ค่าความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจากสตาร์ชหมักปกติ

สกวาดี และปริศนา (2550) ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว และสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อบผสานเนื้ออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 24, 48 และ 72 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติ เวลาการอบผสานเนื้อนานขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคของสตาร์ชข้าวอบผสานเนื้อลดลงมากขึ้น และอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานสลายพันธะของสตาร์ชข้าวอบผสานเนื้อสูงกว่าสตาร์ชข้าวปกติ

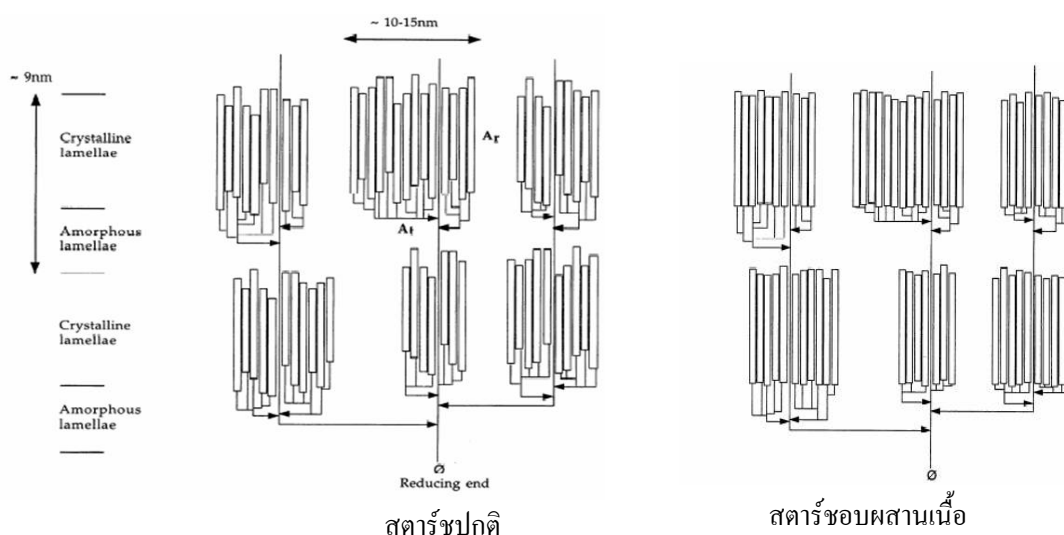
Jacob and Delcour (1998) สรุปผลของการอบผสานเนื้อต่อเม็ดสตาร์ชดังนี้

มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในเม็ดสตาร์ชส่วนของสัณฐาน (crystalline zone) โดยมีการเคลื่อนที่ของสายแอมิโลส หรือแอมิโลเพกทินที่ใกล้เคียงกันเกิดพันธะไฮโดรเจนจับกัน ทำให้โมเลกุลสตาร์ชเป็นระเบียบมากขึ้น เม็ดสตาร์ชจึงแข็งแรงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Kohyama and Sasaki (2006) ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินในสตาร์ชผ่านการอบผสานเนื้อ 20°ซ และ 50 °ซ ปรากฏว่า ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสายกลูโคสในช่วง DP 6-12, DP 13-24, DP 25-35 และตั้งแต่ DP 36 ขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ขึ้นกับ

แอมิโลเพกทิน (ภาพที่ 13) การที่สตาร์ชอบพसानเนื้อีมีค่าพลังงานการสลายพันธะสูงขึ้นอาจเกิดจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลเท่านั้น

เกิดการเปลี่ยนแปลงในเม็ดสตาร์ส่วนของสัณฐาน และอสัณฐาน อาจมีการเคลื่อนที่ของสายแอมิโลส และแอมิโลเพกทินจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นในเม็ดสตาร์ และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลสกับลิพิด ทำให้เพิ่มความเป็นผลึกในเม็ดสตาร์

ดังนั้นการดัดแปรสตาร์วิธีการอบพसानเนื้อีจึงมีความเป็นไปได้ว่า อาจช่วยลดการเกิดรีโทรเกรดในเจลแป้งข้าวผ่านการแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 13 ผลของการอบพसानเนื้อีต่อการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ช

ที่มา : Tester and Debon (2000)

## 9. การผสมกัมในแป้ง

กัม เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ มีสายโมเลกุลของน้ำตาล เช่น น้ำตาลแมนโนส กลูโคส ดี-กาแล็กโทส เป็นต้น หรือกรด เช่น กลูคูโรนิก เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว มีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี เพิ่มความหนืด และความคงตัว บางชนิดเซตเป็นเจลได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เซรามิก สิ่งทอ และเครื่องสำอาง เป็นต้น (Nussinovitch, 1997)

## 9.1 สามารถแบ่งประเภทตามที่มาของวัตถุดิบ (Nussinovitch, 1997) คือ

9.1.1 สารสกัดจากสาหร่าย เช่น อาการ์ (agar) แอลจีเนต (alginate) คาร์ราจีแนน (carrageenan)

9.1.2 สารสกัดจากเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เจลแลน (gellan) แซนแทน (xanthan) ไอโอต้า (iota)

9.1.3 ได้จากยางไม้ เช่น กัมอารบิก (arabic) กัมทรากาแคนต์ (tragacanth) กัมคารายา (karaya)

9.1.4 ได้จากเมล็ดพืช เช่น กัวร์ (guar) โลกัสบีน (locust bean) ทารา (tara)

9.1.5 สารสังเคราะห์ เช่น ซีเอ็มซี (carboxymethylcellulose, cmc) ไฮโดรโพรพิลเซลลูโลส (hydropropylcellulose)

9.1.6 สกัดจากผลไม้ พืช เช่น เพกทิน เป็นต้น

## 9.2 กัมชนิดต่างๆที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมี (Nussinovitch, 1997) ดังนี้

9.2.1 กัมกัวร์ ประกอบด้วยน้ำตาล ดี-แมนโนส เป็นสายหลัก และมีน้ำตาล ดี-กาแล็กโทสต่อเป็นสายยาวทุกๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส เป็นกัมที่สามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว ให้ความหนืดสูง มีความคงตัวช่วงความเป็นกรดเบสค่อนข้างกว้างคือ 4.0-10.5 และมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เล็กน้อย นิยมใช้ในเนยแข็ง ไอศกรีม น้ำสลัด และขนมอบ เป็นต้น

9.2.2 แอลจีเนต เป็นกัมที่ได้จากสาหร่าย ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเกลือโซเดียม หรือ โพแทสเซียม ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูคูโรนิก สามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น สามารถเกิดเจลได้เมื่อผสมเกลือของแคลเซียม ความหนืดของสารละลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส ความเข้มข้น และขนาดโมเลกุล ใช้มากในไอศกรีม เบียร์ และน้ำสลัด เป็นต้น

9.2.3 กัมโลกัสปีน ประกอบด้วยน้ำตาล ดี-แมนโนส เป็นสายหลัก และมีน้ำตาล ดี-กาแล็กโทสต่อเป็นสายยาวทุกๆ 4 โมเลกุลของน้ำตาลดี-แมนโนส เป็นกัมที่จะละลายได้ในน้ำเย็น สามารถละลายได้ดียิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น สารละลายจะมีสีขุ่นเนื่องจากมีโปรตีน และ เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ นิยมใช้ในขนมอบ และใช้ควบคุมขนาดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม และ เนยแข็ง เป็นต้น

9.2.4 กัมซีเอ็มซี ประกอบด้วยโมเลกุลของ บีตา-แอนไฮโดรกลูโคส เป็นกัมที่มีการใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ส่วนใหญ่ใช้เพื่อช่วยให้เกิดความคงตัว และป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง ช่วยปรับปรุงความคงตัวในน้ำสลัด

9.2.5 กัมแซนแทน เป็นกัมที่ได้จากการสังเคราะห์จากจุลินทรีย์ กลุ่ม *Xanthomonas campestris* ประกอบด้วยน้ำตาลดี-กลูโคสเป็นสายหลัก มีกิ่งเป็นน้ำตาล แมนโนส 2 โมเลกุล และ กรดกลูคูโรนิก ต่อกัน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์โมเลกุลใหญ่ ละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ให้สารละลายที่ขุ่น ค่อนข้างคงตัว

9.2.6 กัมคาร์ราจีแนน เป็นกัมจากสาหร่ายทะเลที่ประกอบด้วยน้ำตาลดี-กาแล็กโทส โดยมีกลุ่มของเอสเทอร์-ซัลเฟตจับอยู่กับพอลิเมอร์ด้วย สามารถละลายน้ำได้ดี นิยมใช้เพื่อช่วยให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ใช้เพื่อช่วยควบคุมขนาดของผลึกน้ำแข็ง และควบคุมการตกตะกอนของโปรตีนในไอศกรีม

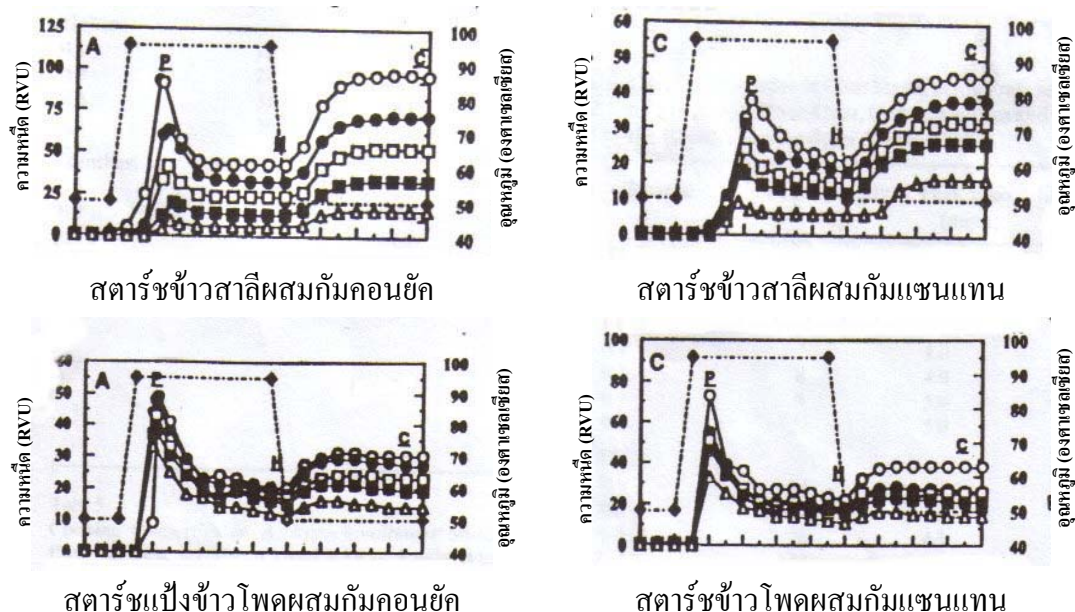
9.2.7 กัมอารบิก เป็นยางไม้ที่ได้จากต้นอาคาเซีย พบมากในทะเลทรายซาฮารา ใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์ ป้องกันการเกิดฟอง ใช้ลดการเกิดผลึกน้ำตาลในอุตสาหกรรมลูกกวาด และ ช็อกโกแลต

เนื่องจากกัมประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ มีขนาดโมเลกุลใหญ่ จับกับน้ำได้ดี เกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ และช่วยเพิ่มความคงตัวภายในอาหาร สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดการเกิดริโทเกรดในอาหารจากแป้งแซ่เอือกแข็งได้ (Lee *et al.*, 2002)

### 9.3 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมกัม

เมื่อแป้งผสมกัมได้รับความร้อนในสถานะที่มีน้ำมากเกินไป สตาร์ชในแป้งค่อยๆ ดูดน้ำ และพองตัวออก แอมิโลสซึมออกมาจนรอบนอกเมล็ดสตาร์ชซึ่งเรียกว่า เนื้อเดียวกัน (continuous phase) เกิดอันตรกิริยากับกัมที่ผสมลงไป หากเกิดอันตรกิริยากันมาก มีแรงดันใบพัดในการกวนมากขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมล็ดสตาร์ชที่แตกออกแล้ว (starch remnant) กระจายอยู่ในส่วนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (disperst phase) ส่วนนี้เกิดอันตรกิริยากับกัมที่ผสมลงไปได้น้อยกว่าในส่วนเป็นเนื้อเดียวกัน (continuous phase) (Bahnassey and Breene, 1994)

Bahnassey and Breene (1994) ทดลองผสมกัมแซนแทน และกัมคอนยัค ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ในสตาร์ชข้าวโพดแอมิโลเพกทินสูง และสตาร์ชข้าวสาลีแอมิโลสสูง ได้ผลว่า การผสมกัมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมากกว่า สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลเพกทินสูง แสดงดังภาพที่ 14 เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนสตาร์ชในสถานะที่มีน้ำมากเกินไป แอมิโลสซึมออกมาจากเมล็ดสตาร์ช และเกิดอันตรกิริยากับสายโมเลกุลของกัมทำให้เกิดการต้านแรงกวนของใบพัด ค่าความหนืดจึงเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลง แอมิโลสเกิดการเซตตัวเป็นเจลพร้อมกับกัม จึงส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่สตาร์ชข้าวโพด และสตาร์ชแอมาร์ตซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อย เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสซึมออกมาน้อย การเกิดอันตรกิริยากับกัมจึงเกิดได้น้อย ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดสตาร์ชแอมิโลสต่ำจึงน้อยกว่าสตาร์ชแอมิโลสสูง



○ ไม่ผสมผสมกัมร้อยละ ● = 0.1, □ = 0.2, ■ = 0.3 และ △ = 0.4

ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชสาลี และสตาร์ชข้าวโพดผสมกัม

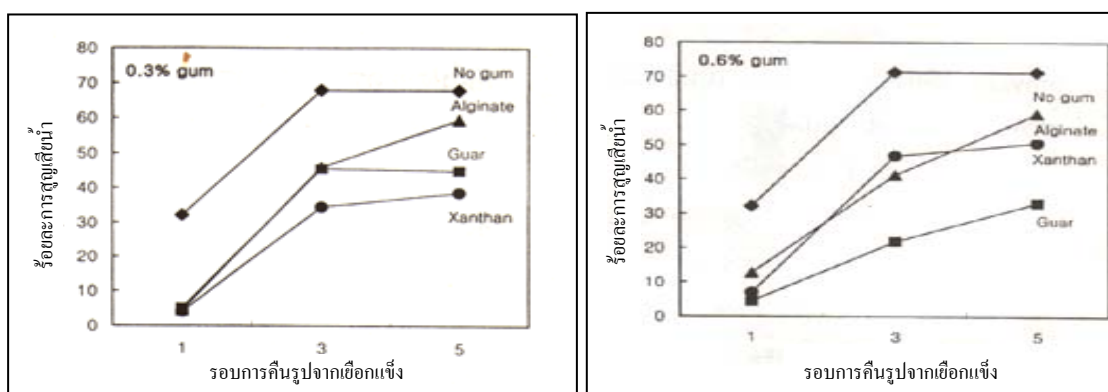
ที่มา : Bahnassey and Breene (1994)

Rojas *et al.* (1999) ตรวจสอบผลของการผสมกัมกัวร์ กัมเพกทิน กัมคาราจีแนน กัมแซนแทน และกัมเอชพีเอ็มซี ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 ต่อสมบัติด้านความหนืดของระบบแป้งสาลีกับน้ำ ปรากฏว่าการผสมกัมแอลจินตร้อยละ 1.0 ในแป้งสาลีมีผลต่อการเพิ่มความหนืดสูงสุดมากที่สุด รองลงมาเป็นกัมกัวร์ กัมคาราจีแนน กัมแซนแทน กัมเอชพีเอ็มซี และกัมเพกทิน ขณะที่ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส การผสมกัมแอลจินตในแป้งสาลีให้ความหนืดสูงสุด รองลงมาเป็นกัมแซนแทน และกัมเอชพีเอ็มซี ทั้งนี้เกิดจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทินกับกัมที่ผสมลงไปทำให้เกิดการต้านแรงกวน ค่าดังกล่าวจึงสูงขึ้น

#### 9.4 สมบัติความคงตัวของแป้งผสมกัมหลังการคั้นรูปจากเยือกแข็ง

Lee *et al.* (2002) ทดลองผสมกัมแซนแทน กัมแอลจินต และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3 ในสตาร์ชมันฝรั่ง ทำให้เกิดเจลาคีโนซ แซ่เยือกแข็ง และคั้นรูปจากเยือกแข็ง ปรากฏว่าการผสมกัมช่วยเพิ่มความคงตัวของเจล ลดการสูญเสียของเจลหลังคั้นรูปจากเยือกแข็ง เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติ (ภาพที่ 15) เมื่อตรวจสอบค่าพลังงานในการสลายพันธะด้วยเครื่องคิฟเฟอเรลเชิล

สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ การผสมกัมสามารถลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ เนื่องจากค่าพลังงานในการสลายพันธะ เมื่อผสมกัมกัวร์ และกัมแซนแทน ร้อยละ 0.3 ค่าพลังงานในการสลายพันธะลดลงเป็น 11.9 และ 11.1 จูล/กรัม ตามลำดับ จากสตาร์ชปกติ 13.5 จูล/กรัม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัมขึ้นเป็นร้อยละ 0.6 ค่าพลังงานในการสลายพันธะลดลงเป็น 6.7 จูล/กรัม และ 9.1 จูล/กรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 15 ค่าร้อยละการสูญเสียของเจลจากสตาร์ชที่ผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.6

ที่มา : Lee *et al.* (2002)

ตารางที่ 3 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ชผสมกัม

| ตัวอย่าง       | การเกิดเจลในน้ำ          |                        |                         |                                 |
|----------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                | อุณหภูมิเริ่มต้น<br>(°ซ) | อุณหภูมิสูงสุด<br>(°ซ) | อุณหภูมิสุดท้าย<br>(°ซ) | ค่าพลังงานสลายพันธะ<br>จูล/กรัม |
| ปกติ           | 48.5                     | 56.2                   | 63.6                    | 13.5                            |
| กัมกัวร์ 0.3%  | 46.1                     | 52.8                   | 61.0                    | 11.9                            |
| กัมกัวร์ 0.6%  | 48.8                     | 54.2                   | 58.6                    | 6.7                             |
| กัมแซนแทน 0.3% | 48.3                     | 57.1                   | 66.1                    | 11.1                            |
| กัมแซนแทน 0.6% | 47.5                     | 52.8                   | 59.9                    | 9.1                             |

ที่มา : Lee *et al.* (2002)

Funami *et al.* (2005) ทดลองผสมกัมกัวร์ขนาดโมเลกุลใหญ่ และเล็กในแป้งข้าวโพด ทำให้เกิดเจลในน้ำ แข็งขึ้น 4 °ซ เป็นเวลา 24 ชม ปรากฏว่า การผสมกัมกัวร์โมเลกุลใหญ่ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก Sadhakar *et al.* (1996) ได้ทดลองผสมกัมกัวร์ และกัม

โลกัสปีนลงในแป้งข้าวโพด และแป้งแอมาร์ตร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.2 ทำให้เกิดเจลาทีไนซ์ แซ่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตรวจสอบค่าการสูญเสีย น้ำของเจล ได้ผลว่า ในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง เมื่อความเข้มข้นของกัมในเจลแป้งข้าวโพด และเจลแป้งแอมาร์ต เพิ่มขึ้นร้อยละการสูญเสีย น้ำลดลง

จากสมบัติของกัม ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี ช่วยเพิ่มความคงตัวของเจลแป้ง จึงอาจช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และเพิ่มความคงทนต่อเจลจากแป้ง หลังการคืนรูปจากเยือกแข็ง (Sadhakar *et al.*, 1996)

## 10. จุลินทรีย์ที่พบในอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งเป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ความร้อนที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิด และประเภทอาหารที่ต้องการผลิต ซึ่งความร้อนที่ใช้อาจไม่พอทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในวัตถุดิบให้หมดไปได้จึงต้องกำหนดคุณภาพของวัตถุดิบ, การควบคุมการผลิต และสัญลักษณ์ที่ดีของการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ หรือการปนเปื้อนกลับ (Cross-contamination) ของเชื้อจุลินทรีย์ภายหลังการให้ความร้อน โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องในอาหารแช่เยือกแข็งแบ่งได้ดังนี้ (อดิศร, 2538)

### 10.1 จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสีย

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อจุลินทรีย์ชอบเย็น (Psychrophiles) สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียสกุล ชูโดโมแนส (*Pseudomonas*) เมื่อเจริญในอาหารเกิดสารในกระบวนการสร้างและสลาย (metabolite) กรดแอมิโนในอาหาร แล้วให้สารประกอบพวกมาโลโดรัส (Malodorus) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่ดีในอาหาร โดยปกติถ้าควบคุมอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งอย่างมีประสิทธิภาพแล้วเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ไม่สามารถเจริญได้ แต่ถ้าอุณหภูมิการเก็บผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0 °C เป็นเวลานาน จุลินทรีย์ดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียได้

## 10.2 จุลินทรีย์ที่เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงสุขลักษณะ

โดยทั่วไปการตรวจหาจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ตามมาตรฐานสากลคือการตรวจหาโคลิฟอร์ม (coliforms) และ เอสเชอริเชีย โคลิ (*Escherichia coli*) ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวมีแหล่งสะสมอยู่ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลื้อยคลาน การปนเปื้อนของเชื้อกลุ่มนี้ในอาหารแสดงถึงสุขลักษณะของการผลิตที่ไม่ดี เนื่องจากเป็นเชื้อที่ไม่ทนความร้อน ดังนั้นเมื่อตรวจพบเชื้อกลุ่มนี้ในอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนภายหลังการให้ความร้อน หรือความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตไม่เพียงพอที่ทำลายเชื้อในกลุ่มดังกล่าวได้

## 10.3 จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

การตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงให้เห็นว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีคุณภาพไม่ดี หรือสุขลักษณะของแหล่งผลิตไม่ดี เชื้อในกลุ่มนี้ถ้าเจริญในผลิตภัณฑ์เป็นปริมาณมาก และผู้บริโภคใช้ความร้อนในการอุ่นไม่เพียงพอ อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ เชื้อที่สำคัญได้แก่ สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*), ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*), คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*Clostridium perfringens*), บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*), วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*Vibrio parahaemolyticus*) และลิสเทอเรีย โมโนไซโตเจเนส (*Listeria monocytogenes*) เป็นต้น

## 11. การเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง

อุณหภูมิการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิต่ำทำให้จุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีลดลง แต่กระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาไม่ได้ทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ และผลจากจุลินทรีย์นี้ผันแปรไปตามอุณหภูมิด้วย การเก็บรักษาที่อุณหภูมิระหว่าง -4 ถึง -10 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดผลกระทบถึงตาย (lethal effect) ต่อจุลินทรีย์มากกว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ระหว่าง -15 ถึง -30 องศาเซลเซียส (นิธิยา, 2544)

นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์บางชนิดที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ยกเว้นจุลินทรีย์ประเภทยีสต์ รา แบคทีเรียแกรมลบ เช่น คอลิฟอร์ม (*Coliform*) และซัลโมเนลลาสปีชีส์ (*Salmonella species*) ส่วนใหญ่ถูกทำลายได้เกือบทั้งหมด ส่วนแบคทีเรียแกรมบวก เช่น สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส

(*Staphylococcus aureus*) และเอนเทอโรคอกคัส (*Enterococci*) และสปอร์ของราค่อนข้างทนทานต่อการแช่เยือกแข็ง แต่สปอร์ของแบคทีเรียโดยเฉพาะบาซิลลัสสปีชีส์ (*Bacillus* species) และคลอสทริเดียมสปีชีส์ (*Clostridium* species) เช่นคลอสทริเดียม บอ툴ินัม (*C. botulinum*) ไม่ได้รับผลกระทบจากการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นต้องควบคุมด้วยก๊าซออกซิเจน ภาวะความเป็นกรด หรือรวมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งประเทศไทยได้มีข้อกำหนดสำหรับอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภค แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดทางจุลชีววิทยาของอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือแช่เยือกแข็ง

| ประเภทอาหาร     | ค่ากำหนด                            |          |                 |
|-----------------|-------------------------------------|----------|-----------------|
| 1. แช่เย็น      | จุลินทรีย์รวม/กรัม                  | น้อยกว่า | $1 \times 10^6$ |
|                 | MPN Coliforms/กรัม                  | น้อยกว่า | 500             |
|                 | MPN <i>E. coli</i> /กรัม            | น้อยกว่า | 3               |
|                 | <i>S. aureus</i> /กรัม              | น้อยกว่า | 100             |
|                 | <i>B. cereus</i> /กรัม              | น้อยกว่า | 100             |
|                 | <i>C. perfringers</i> /0.01กรัม     | ไม่พบ    |                 |
|                 | <i>V. parabaemolyticus</i> /25 กรัม | ไม่พบ    |                 |
|                 | Salmonellae/25 กรัม                 | ไม่พบ    |                 |
| 2. แช่เยือกแข็ง | จุลินทรีย์รวม/กรัม                  | น้อยกว่า | $1 \times 10^5$ |
|                 | MPN Coliforms/กรัม                  | น้อยกว่า | 100             |
|                 | MPN <i>E. coli</i> /กรัม            | น้อยกว่า | 3               |
|                 | <i>S. aureus</i> /กรัม              | น้อยกว่า | 50              |
|                 | <i>B. cereus</i> /กรัม              | น้อยกว่า | 50              |
|                 | <i>C. perfringers</i> /0.1กรัม      | ไม่พบ    |                 |
|                 | <i>V. parabaemolyticus</i> /25 กรัม | ไม่พบ    |                 |
|                 | Salmonellae/25 กรัม                 | ไม่พบ    |                 |

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2547)

สำหรับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งโดยทั่วไป คือ ประมาณ  $-18^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้ไม่ให้อายุเสียคุณภาพทั้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ด้วย และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้อาหารเสื่อมเสีย เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้นรอบ ๆ

ผลึกน้ำแข็ง ทำให้น้ำอิสระลดลง นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และศักย์รีดอกซ์ด้วย (redox potential) ถ้าผลึกน้ำแข็งไม่ทำลายผนังเซลล์ ทำให้เอนไซม์ยังคงอยู่ภายในเซลล์ และมีความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยากับตัวถูกละลายที่อยู่ภายในเซลล์ได้ง่ายขึ้น (นิธิยา, 2544)

ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งในเซลล์เปลี่ยนแปลงรูปร่าง ถ้ามีขนาดเล็กทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดี แต่อย่างไรก็ตามจำนวนของผลึกน้ำแข็งลดลง และมีขนาดของผลึกน้ำแข็งที่ใหญ่ขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะที่อุณหภูมิไม่คงที่ เป็นผลทำให้คุณภาพของอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเช่น ผิวนอกของอาหารแห้งแตก และเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น เป็นต้น (Lisa, 1997)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัตถุดิบ

1.1 ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 จากโรงสี จ. พระนครศรีอยุธยา (ปี 2545)

1.2 กัมทั้งหมด 7 ชนิด ดังนี้

1.2.1 กัมอารบิก บริษัท Jumbo Trading ประเทศไทย

1.2.2 กัมคาร์ราจีแนน ห้างหุ้นส่วนจำกัดเล็บวัลเลย์ ประเทศไทย

1.2.3 กัมโซเดียมแอลจิเนต บริษัท Pronova Biopolymer

1.2.4 กัมโลกส์ป็น ห้างหุ้นส่วนจำกัดเล็บวัลเลย์ ประเทศไทย

1.2.5 กัมซีเอ็มซี บริษัท Brosonard Jacobs

1.2.6 กัมแซนแทน ห้างหุ้นส่วนจำกัดเล็บวัลเลย์ ประเทศไทย

1.2.7 กัมกัวร์ บริษัท Degussa Texturant System (Thailand) Ltd.

#### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการดัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าว

2.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี

#### 3. เครื่องมือที่ใช้ผลิตเส้นขนมจีน

3.1 เครื่องโม่หินไฟฟ้า (Stone mill) ประเทศไทย

3.2 เครื่องเหวี่ยงแยกน้ำแบบตะกร้า (Basket centrifuge) ประเทศไทย

3.3 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) บริษัทยูเรก้า ประเทศไทย

3.4 เครื่องบดตัวอย่างอาหารแห้ง (Hammer mill) MIKRO-PULVERIZER® รุ่น AP-S  
บริษัท HOSOKAWA MICRON CORP. ประเทศญี่ปุ่น

3.5 ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช บริษัท Endecotts, Ltd. ประเทศอังกฤษ

3.6 กระบอกโรยเส้นขนมจีน (Hand extruder) ประเทศไทย ขนาดความกว้างของรูประมาณ 2 มิลลิเมตร

3.7 อุปกรณ์เครื่องครัว

#### 4. เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพ

##### 4.1 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพทางฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์

4.1.1 เครื่องบดตัวอย่าง (Ultra – centrifugal mill type ZM1) บริษัท Retch

4.1.2 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น CM-3500d บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น

4.1.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราด หรือ กล้องเอสอีเอ็ม (Scanning electron microscope: SEM) รุ่น JSM-5600 LV บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น

4.1.4 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน หรือเครื่องเอกซอาร์ดี (X-ray diffraction: XRD) รุ่น JSM-5600 LV บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น

4.1.5 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว หรือเครื่องอาร์วีเอ (Rapid Visco Analyzer: RVA) รุ่น 4D บริษัท Newport Scientific Pty, Ltd. ประเทศออสเตรเลีย

4.1.6 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) รุ่น TA-XT2 บริษัท Micro Stable System ประเทศอังกฤษ

4.1.7 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ หรือเครื่องดีเอสซี (Differential scanning calorimeter: DSC) บริษัทเมทเลอร์ โทเลโด ประเทศสหรัฐอเมริกา

##### 4.2 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

4.2.1 เครื่องชั่งละเอียด รุ่น AP210S บริษัท Ohaus ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

4.2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี

4.2.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) Spectronic 22 ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.2.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi Kjeldahl system) ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

4.2.5 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Tecator: 1043 Soxtec system HT6) บริษัท Tecator AB ประเทศสวีเดน

4.2.6 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnance) รุ่น FSE-621 Series บริษัท Sanyo Gallenkamo ประเทศไทย

#### 4.3 เครื่องแช่เยือกแข็ง

4.3.1 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกฟอสฟอรัสไนโตรเจนทำความเย็นแบบขวดแข็งอย่างต่อเนื่อง บริษัท บางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด ประเทศไทย

4.3.2 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

4.3.2 ตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส รุ่น U30AAWHZZ บริษัท Brandt ประเทศฝรั่งเศส

### 5. อุปกรณ์ประมวลผลและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

5.1 ไมโครคอมพิวเตอร์

5.2 โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์ผลทางสถิติ (SPSS For Window)

### 6. อุปกรณ์ทดสอบทางประสาทสัมผัส

6.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

6.2 อุปกรณ์ เช่น ถ้วย ช้อน และแก้วน้ำ

6.3 เตาไมโครเวฟ National Model NM-K571MF กำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ ความถี่คลื่น 2,450 เมกะเฮิรตซ์ บริษัท National ประเทศไทย

## วิธีการทดลอง

### 1. ผลิตแป้งปกติ แป้งหมักปกติ แป้งหมักพรีเจลาไทไนซ์ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

ผลิตแป้งปกติ แป้งหมักปกติ แป้งหมักพรีเจลาไทไนซ์ และแป้งหมักอบผานเนื้อเพื่อใช้ในการกระบวนการตรวจสอบสมบัติของแป้ง และใช้ในการกระบวนการผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

#### 1.1 การเตรียมแป้งปกติ

นำข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 มาล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นแช่น้ำ 4 ชั่วโมง โม่ข้าวด้วยเครื่องโม่หิน แยกเอาน้ำออกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำ หลังจากนั้นอบแห้งอุณหภูมิ 50 °ซ บดด้วยเครื่องบดแห้ง ร่อนแป้งผงผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท อุณหภูมิห้อง (อรพรรณ, 2547)

#### 1.2 การเตรียมแป้งหมักปกติ

นำข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ล้างทำความสะอาด เทใส่ถังหมักข้าว แช่ข้าวในน้ำ 2 คืน ล้างทำความสะอาด และเปลี่ยนน้ำทุกวัน เทข้าวลงในตะกร้าที่มีผ้าขาวบางรองรับ ห่อปิดด้านบนด้วยผ้าให้มิดชิด หมักทิ้งไว้ 3 วัน ล้างทำความสะอาดข้าวทุกวัน โม่ข้าวด้วยเครื่องโม่หิน ทิ้งให้แป้งตกตะกอน 1 คืน ตักน้ำส่วนบนทิ้ง เทแป้งลงในถุงผ้า นำก้อนหินขนาดใหญ่ทับเอาไว้ 1 คืน นำแป้งออกมาเกลี่ยลงถาดอบของเครื่องอบแบบถาด อุณหภูมิ 50 °ซ นำแป้งแห้งความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 12 บดด้วยเครื่องบดแห้ง ร่อนแป้งหมักผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท อุณหภูมิห้อง (ภควัฒน์, 2547)

#### 1.3 การเตรียมแป้งหมักพรีเจลาไทไนซ์

นำแป้งหมักละลายน้ำอัตราส่วนแป้งหมักต่อน้ำ 60 : 40 โดยน้ำหนัก นำเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ปรับระยะห่างของลูกกลิ้ง 0.004 นิ้ว ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 135-137 °ซ ค่อยๆผสมน้ำแป้ง เมื่อได้แผ่นแป้งพรีเจลาไทไนซ์ นำเก็บลงในถุงพลาสติกปิด

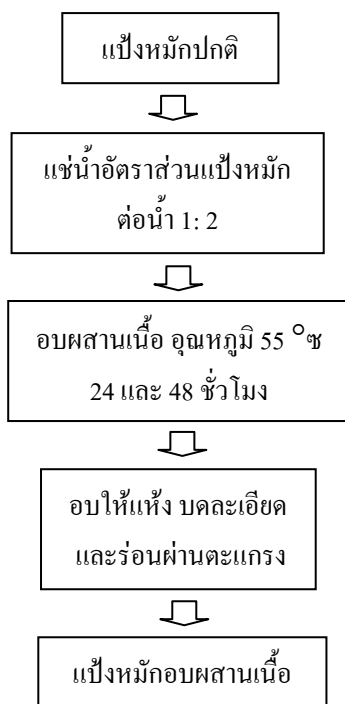
สนิท นำแป้งพรีเจลาทีไนซ์แผ่นมาบดด้วยเครื่องบด หลังจากนั้น ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท (ภควัฒน์, 2547)



ภาพที่ 16 กระบวนการผลิตแป้งหมักปกติ และแป้งหมักพรีเจลาทีไนซ์  
ที่มา: ภควัฒน์ (2547)

#### 1.4 การเตรียมแป้งหมักอบผานเนื้อ

คัดแปรรูปข้าวในแป้งหมักปกติด้วยวิธีการอบผานเนื้อ โดยนำแป้งหมักปกติที่ได้มาผสมกับน้ำอัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 1: 2 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนอุณหภูมิ 55 °ซ ปริมาณความชื้นร้อยละ 60 ที่ระยะเวลา 2 ระดับคือ 24 และ 48 ชม บ่มในอ่างควบคุมความร้อน ทำระดับละ 2 ตัวอย่าง คัดแปลงจาก Seow and Teo (1993)



ภาพที่ 17 กระบวนการผลิตแป้งหมักอบผานเนื้อ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Seow and Teo (1993)

## 2. ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ โดยทำการทดลองระดับละ 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 2.1 สมบัติทางฟิสิกส์

#### 2.1.1 ลักษณะเม็ดสตาร์ชในแป้ง

ก. ตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อผ่านกล้องจุลทรรศน์ แบบแสงส่องผ่าน กำลังขยาย 1,000 เท่า (Paipong and Naivikul, 2005)

ข. ตรวจสอบลักษณะเม็ดสีในแป้งปกติ และแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามวิธีของน้ำฝน (2548)

### 2.1.2 ค่าสี

ตรวจสอบค่าสีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อ ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer) โดยดัดแปลงวิธีการของ Lee *et al.* (2001) นำตัวอย่างแป้งใส่กล่องทรงกระบอกสำหรับวัดสีของเครื่อง บันทึกค่าสีที่วัดในระบบ Hunter เป็น L,  $a^*$  และ  $b^*$

เมื่อ ค่า L คือ ความสว่างของสี มีค่า 0-100 (L=0 คือ สีดำ L=100 คือ สีขาว)

ค่า  $a^*$  คือ ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (ค่า  $-a^*$  หมายถึง สีเขียว ค่า  $+a^*$  หมายถึง สีแดง)

ค่า  $b^*$  คือ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่า  $-b^*$  หมายถึง สีนํ้าเงิน ค่า  $+b^*$  หมายถึง สีเหลือง)

## 2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อ

### 2.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AACC (2000) Method 44 – 15A

2.2.2 ปริมาณโปรตีน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Buchi Kjeldahl System ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 46-12

2.2.3 ปริมาณไขมัน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Soxtec system HT 6 ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 30-25

2.2.4 ปริมาณเถ้า วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Muffle furnace ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 08-01

2.2.5 ปริมาณแอมิโลส วิเคราะห์โดยการทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ดัดแปลงวิธีการของ Juliano (1971)

## 2.3 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

### 2.3.1 สมบัติด้านความหนืด

ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผสานเนื้อด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว หรือ อาร์วีเอด์แปลงจากวิธีของ Jacobs and Delcour (1998)

### 2.3.2 กำลังการพองตัว และการละลาย

ตรวจสอบกำลังการพองตัว และการละลายของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผสานเนื้อ โดยใช้วิธีดัดแปลงของ Schoch (1964)

### 2.3.3 ลักษณะโครงสร้างผลึก

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกของสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผสานเนื้อด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ หรือเอกซ์อาร์ดี ตามวิธีของ น้ำฝน (2548)

### 2.3.4 ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ด้วยเครื่องดีเอสซี

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 3.0-3.5 มิลลิกรัม ใส่ในภาชนะปลอดสนิม (stainless pan) ผสมน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน (deionized water) จนมีความเข้มข้นร้อยละ 70 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ปิดฝาภาชนะให้สนิท บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใส่ตัวอย่างในเครื่องดีเอสซี ใช้ภาชนะเปล่าเป็นสารอ้างอิง ให้ความร้อนกับตัวอย่าง 30 ถึง 140 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น (onset temperature,  $T_o$ ) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature,  $T_p$ ) อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย (conclusion temperature,  $T_c$ ) และพลังงานเอนทัลปี (enthalpy,  $\Delta H$ ) ที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีไนเซชัน และคำนวณระดับการเกิดเจลลาทีไนเซชัน (ร้อยละ) ตามวิธีการของ Marshall *et al.* (1993)

### 2.3.5 ตรวจสอบสมบัติการเกิดรีโทรเกรด ด้วยเครื่องดีเอสซี

นำตัวอย่างที่ตรวจสอบในข้อ 2.3.4 ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน นำมาคืนรูปจากเยือกแข็งอุณหภูมิห้อง นับเป็น 1 รอบ ทำ 1, 3 และ 5 รอบ แล้วจึงนำมาตรวจสอบการเกิดรีโทรเกรดให้ความร้อนกับตัวอย่าง 25 ถึง 120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น, อุณหภูมิที่จุดสูงสุด, อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย และพลังงานเอนทัลปี การเกิดรีโทรเกรด (Takaya *et al.*, 2000)

## 2.4 ตรวจสอบสมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง

เตรียมเจลแบ่งความเข้มข้นแบ่งต่อน้ำร้อยละ 8 ตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำ ค่าเนื้อสัมผัสหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 มีขั้นตอนดังนี้

### 2.4.1 การเตรียมเจลแบ่ง

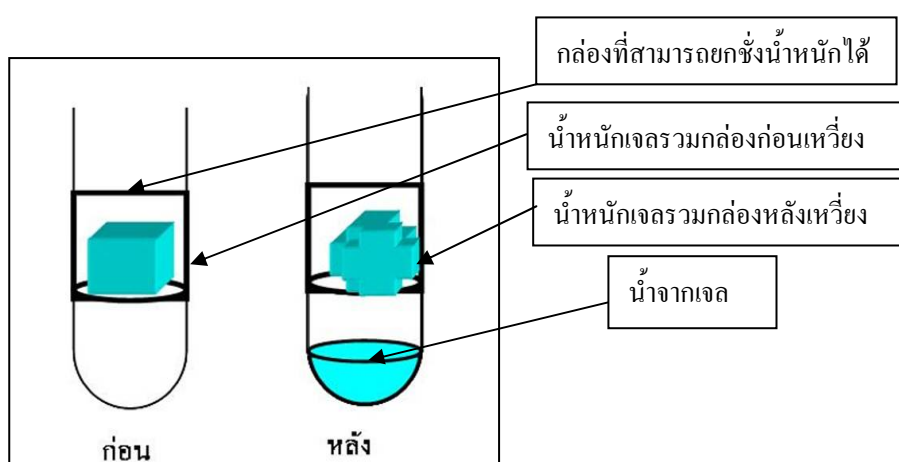
นำตัวอย่างแบ่ง 24 กรัม ละลายในน้ำ 276 กรัม เทใส่ขวดแก้วมีฝาปิดสนิท ให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แก้วขวดตลอดเวลา ดูดแบ่งที่ได้ด้วยหลอดชนิดยา ชุดที่ 1 ปริมาตร 4 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 20 หลอด และชุดที่ 2 ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 20 หลอด แบ่งใส่ถุงพลาสติก 4 ถุง ประกอบด้วยหลอดชนิดยาชุดที่ 1 จำนวน 5 หลอด และชุดที่ 2 จำนวน 5 หลอด ที่ทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง ชุดที่ 2, 3 และ 4 นำมาแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ -18 ° ซ ด้วยตู้แช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด 24 ชั่วโมง นำชุดที่ 2, 3 และ 4 มาคืนรูปจากเยือกแข็ง อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง นับเป็นรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำกลับไปแช่เยือกแข็งอีกครั้ง ตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัสของเจล และค่าการสูญเสียน้ำของเจลแบ่งที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง, เจลแบ่งรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5

### 2.4.2 ปริมาณการสูญเสียน้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ตรวจสอบความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแบ่งหมักปกติ และแบ่งหมักอบพสานเนื้อ อุณหภูมิ 55 ° ซ เวลา 24 และ 48 ชม โดยการหาปริมาณน้ำที่เหวี่ยงแยกออกจากเจลแบ่ง คัดแปลงวิธีการของ Yuan and Thompson (1999) ดังนี้ คืนรูปเจลแบ่งอุณหภูมิห้องเป็น

เวลา 2 ชั่วโมง นำเจลแข็งออกจากหลอดฉีดยา นำวางในถ้วยใส่ตัวอย่างที่ทราบน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักตัวอย่างรวมกับกล่องก่อนเหวี่ยง วางในหลอดเหวี่ยง เหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 2,800 รอบต่อนาที ชั่งน้ำหนักกล่องรวมตัวอย่างหลังเหวี่ยง คำนวณปริมาณการสูญเสียน้ำคิดเป็นร้อยละ

$$\text{ร้อยละการสูญเสียน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเหวี่ยง}) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวอย่างรวมกล่องก่อนเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักกล่อง})}$$



ภาพที่ 18 ลักษณะหลอดที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสียน้ำของเจลแข็งก่อน และหลังเหวี่ยงแยกน้ำ

#### 2.4.3 ค่าเนื้อสัมผัสของเจล

ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแข็งหมักปกติ และแข็งหมักอบพาสานเนื้อ ความเข้มข้นร้อยละ 8 ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยหัววัดอะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร โดยนำเจลชุดที่ 2 ออกมาจากหลอดฉีดยา ตัดเจลแข็งให้มีหัว และท้ายเจลเรียบ ความสูง 2 เซนติเมตร วัดค่าตามวิธีการของ Perez *et al.* (1998) รายงานค่าความแข็ง (hardness) และความความยืดหยุ่น (adhesiveness) ของเจลแข็ง ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

#### 2.5 โครงสร้างของเจลแข็งจากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

นำเจลที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งในรอบที่ 5 มาหั่นในแนวขวางหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร แช่เยือกแข็งโดยการราดไนโตรเจนเหลว นำเข้าเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง (freeze-dryer) เมื่อเจลแห้งสนิทเก็บเจลแข็งในเดซิเคเตอร์ นำเจลแข็งมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

ติดกับสตัปที่ใช้บรรจุตัวอย่างเข้าเครื่อง เก็บในตู้ดูดความชื้น 1 คืน ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำเข้าเครื่องเคลือบประจุทองคำ และส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน กระแสอิเล็กตรอน 15 กิโลวัตต์ กำลังขยาย 100, 500 และ 3,000 เท่า (น้ำฝน, 2548)

### 3. ตรวจสอบผลของการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และหาสัดส่วนแป้งหมักปกติ ต่อแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

การปรับปรุงขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ โดยนำแป้งหมักอบ ผานเนื้อที่คัดเลือกจากการทดลองข้อ 2 ทดแทนแป้งหมักปกติที่ใช้ผลิตเส้นขนมจีนในปริมาณ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ ได้สูตรแป้งผสม 6 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 = แป้งหมักปกติ ร้อยละ 100

สูตรที่ 2 = แป้งหมัก ร้อยละ 90, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 10

สูตรที่ 3 = แป้งหมัก ร้อยละ 80, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 20

สูตรที่ 4 = แป้งหมัก ร้อยละ 70, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 30

สูตรที่ 5 = แป้งหมัก ร้อยละ 60, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 40

สูตรที่ 6 = แป้งหมัก ร้อยละ 50, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 50

ตรวจสอบสมบัติของแป้งผสม และผลิตขนมจีนจากแป้งผสมทั้ง 6 สูตร

#### 3.1 สมบัติด้านความเหนียวแป้งหมักปกติ และแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ

ตรวจสอบสมบัติด้านความเหนียวของแป้งหมักปกติ และแป้งผสม 5 สูตร ด้วยเครื่อง อารวีเอ ตามวิธีของ Jacobs and Delcour (1998) ทำการทดลองสูตรละ 1 ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

#### 3.2 ทดลองผลิตเส้นขนมจีน

ผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50

ตารางที่ 5 สัดส่วนระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

| สูตร | การทดแทนแป้งหมักอบ<br>ผานเนื้อ (ร้อยละ) | แป้งหมักปกติ<br>(กรัม) | แป้งหมักอบผานเนื้อ<br>(กรัม) |
|------|-----------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| 1    | ไม่ทดแทน                                | 170                    | ไม่ทดแทน                     |
| 2    | 10                                      | 153                    | 17                           |
| 3    | 20                                      | 136                    | 34                           |
| 4    | 30                                      | 119                    | 51                           |
| 5    | 40                                      | 102                    | 68                           |
| 6    | 50                                      | 85                     | 85                           |

นำแป้งหมักปกติ (น้ำหนักแห้ง) และแป้งหมักอบผานเนื้อ (น้ำหนักแห้ง) ตามสัดส่วนตารางที่ 5 ผสมแป้งหมักปริเจลาทีนซ์จากข้อ 1.3 (น้ำหนักแห้ง) 30 กรัม เทลงอ่างผสมของเครื่องนวดผสมไฟฟ้า ใช้หัวนวดใบไม้ คนผสมกันเล็กน้อย เปิดเครื่องนวดใช้ความเร็วต่ำสุด ค่อยๆผสมน้ำ 120 กรัมจนหมด นวดนาน 5 นาที หลังจากนั้นใช้ความเร็วระดับปานกลาง นวดนาน 20 นาที ตักแป้งขนมจีนใส่กระบอบนวด โรยลงในน้ำเดือด จับเส้น โดยจับเส้นยาวประมาณ 20 เซนติเมตร พันเป็นวงกลมวางลงในตะกร้า นับจำนวนจับที่ได้ (ภควัฒน์, 2547)

3.3 หาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีน  
แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

การแช่เยือกแข็ง นำขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ (ข้อ 3.2) บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 500 มิลลิตร 10 จับ สูตรละ 4 กล่อง 2 ซ้ำแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส 10 ซ้ำ และตรวจสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

### 3.3.1 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งเป็น  $-30^{\circ}\text{C}$  นำกล่องพลาสติกบรรจุขนมจีนวางเรียงบนถาดแช่เยือกแข็ง นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเสียบเข้ากับขนมจีนที่บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีน ปรับให้อัตราเร่งอุณหภูมิภายในตู้ให้เป็น  $-80^{\circ}\text{C}$  ภายใน 3 นาที และควบคุมให้อุณหภูมิ

ภายในตู้เป็น  $-80^{\circ}\text{C}$  จนกระทั่งอุณหภูมิภายในขนมจีนเป็น  $-40^{\circ}\text{C}$  นำออกจากตู้ เก็บในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก กุรอซียะห์, 2547; พัลลภ, 2549)

รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำขนมจีนทั้ง 6 สูตร คั้นรูปด้วยการอุ่นในเตาไมโครเวฟ โดยวางกล่องขนมจีนในภาชนะคล้ายชั่งนึ่ง เติมน้ำภายในภาชนะ และปิดฝา ให้พลังงานไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ ความถี่คลื่น 2,450 เมกะเฮิรตซ์ ระดับ 5 เป็นเวลา 3.30 นาที หลังจากอุ่นเสร็จทิ้งไว้ 3 นาที

รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3 หลังจากขนมจีนผ่านการแช่เยือกแข็งนำกลับไปแช่เยือกแข็งในตู้  $-18^{\circ}\text{C}$  ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำขนมจีนทั้ง 6 สูตรมาคั้นรูปจากเยือกแข็งอุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง นับเป็นรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำเข้าตู้แช่เยือกแข็งอีกครั้ง  $-18^{\circ}\text{C}$  นำมาคั้นรูปจากเยือกแข็งอุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมงนับเป็นรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 และรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3 คั้นรูปด้วยการอุ่นในเตาไมโครเวฟ วางกล่องขนมจีนในภาชนะคล้ายชั่งนึ่ง เติมน้ำภายในภาชนะปิดฝา และให้พลังงานไมโครเวฟระดับ 5 (ครึ่งหนึ่งของกำลังเตาไมโครเวฟ) เป็นเวลา 3.3 นาที หลังจากอุ่นเสร็จทิ้งไว้ 3 นาที

รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ทำเช่นเดียวกับรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3 โดยการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 ถึง 4 คั้นรูปที่อุณหภูมิห้อง รอบที่ 5 คั้นรูปด้วยเตาไมโครเวฟ

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมัก และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ก่อนการแช่เยือกแข็ง, การคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ โดยให้คะแนนความแข็งลงบนเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร ในด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม สเกล 0 หมายถึงมีความเข้มน้อย สเกล 15 หมายถึงมีความเข้มน้อย โดยทำการฝึกฝนผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ให้ผู้ทดสอบทดลองชิมตัวอย่างขนมจีนแป้งหมักปกติที่ผลิตใน

ห้องปฏิบัติ การเป็นขนมจีนที่มีความเรียบมาก มีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมาก และความชุ่มน้อย และขนมจีนแป้งหมักผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 เป็นขนมจีนที่มีความเรียบน้อย ความแน่นเนื้อมาก ความยืดหยุ่นน้อย และความชุ่มมาก และตรวจสอบความชอบวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ (จากไม่ชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด) ด้านความชอบรวม เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองจึงใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ประเมินความชอบเพื่อคัดเลือกตัวอย่าง (ไพโรจน์, 2545)

### 3.3.2 การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งเป็น  $-40^{\circ}\text{C}$  นำกล่องพลาสติกบรรจุขนมจีนวางเรียงบนถาดแช่เยือกแข็ง นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเสียบเข้ากับขนมจีนที่บรรจุในกล่องพลาสติก แช่เยือกแข็งจนกระทั่งอุณหภูมิภายในขนมจีนเป็น  $-30^{\circ}\text{C}$  นำออกจากตู้ ไปเก็บในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก กุรอซียะห์, 2547) นำมาคืนรูปเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.1

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 วันเริ่มต้น, การคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ และวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ ตามข้อ 3.3.1 ข

3.4 ตรวจสอบโครงสร้างขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 สูตรที่ 1, 3 และ 5 ตามวิธีข้อ 2.5

#### 4. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลที่ในซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม

4.1 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน ซีเอ็มซี กัวร์ โลกัสปีน คาร์ราจีแนน อารบิก และแอลจินต ความเข้มข้นของกัม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ ทำการทดลองระดับละ 1 ตัวอย่าง ละ 3 ซ้ำ

ชั่งกัม 0.1 กรัม ละลายในน้ำ 88 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา 2 ชั่วโมง ค่อยๆ ผสมแป้ง 12 กรัม คนต่ออีก 30 นาที เทสารผสมระหว่าง กัม, แป้ง และน้ำ 28 กรัม ลงในถ้วยวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดดัดแปลงจากวิธีของ Bahnassey and Breene (1994)

4.2 สมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน ซีเอ็มซี กัวร์ โลกัสปีน คาร์ราจีแนน อารบิก และแอลจินต ความเข้มข้นของร้อยละ 0.5 โดยตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำของเจล ทำการทดลอง 2 ตัวอย่าง ละ 3 ซ้ำ

##### 4.2.1 การเตรียมเจล

ชั่งกัม 1.5 กรัม ละลายในน้ำ 276 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา 2 ชั่วโมง ค่อยๆ ผสมแป้ง 24 กรัม คนต่ออีก 30 นาที เทสารผสมระหว่างกัม, แป้ง และน้ำใส่ขวดแก้วมีฝาปิดสนิท ให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แกว่งขวดตลอดเวลา ดูดสารผสมที่ได้ด้วยหลอดฉีดยา ชุดที่ 1 ปริมาตร 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 20 หลอด และชุดที่ 2 ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 20 หลอด แบ่งใส่ถุงพลาสติก 4 ถุง ประกอบด้วยหลอดฉีดยาชุดที่ 1 จำนวน 5 หลอด และชุดที่ 2 จำนวน 5 หลอด ทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง ถุงที่ 2, 3 และ 4 นำมาแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  ด้วยตู้แช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด 24 ชั่วโมง นำถุงที่ 2, 3 และ 4 มาคืนรูปจากเยือกแข็ง อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง นับเป็นรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำกลับไปแช่เยือกแข็งอีกครั้ง ตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัสเจล และค่าการสูญเสีย น้ำของเจลแป้งที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง, เจลแป้งรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5

#### 4.2.2 ปริมาณการสูญเสียน้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ตรวจสอบค่าร้อยละการสูญเสียน้ำของเจลแข็งหมักปกติ เจลแข็งหมักผสมกัม 7 ชนิด กัมอารบิก, คาราจีแนน, โลกัสปีน, แอลจินเตซีเอ็มซี, แซนแทน และกัวร์ ความเข้มข้นของกัมร้อยละ 0.5 หลังคืนรูปจากเยือกแข็ง ตามวิธีข้อ 2.4.2 เลือกกัมที่สามารถลดการสูญเสียน้ำมากที่สุด 3 ชนิดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4.3 ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลที่ในซ์ของแข็งหมักผสมกัม และการเกิดรีโทรเกรดของเจลแข็งหมักผสมกัมตามวิธีของ Lee *et al.*(2002)

4.4 เนื้อสัมผัสของเจล ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแข็งหมัก เจลแข็งหมักผสมกัม 3 ชนิด ที่เลือกจากข้อ 3.2 ทำตามวิธีข้อ 2.4.3 วัดค่าตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

4.5 โครงสร้างของเจลแข็งหมักปกติ และเจลแข็งหมักผสมกัมที่เลือกจากข้อ 4.2.2 ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำตามข้อ 2.5

### 5. หาปริมาณ และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

5.1 ผลิตขนมจีนแข็งหมักผสมกัมที่เลือกจากข้อ 4.2.2 จำนวน 3 ชนิด ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

นำแข็งหมัก (น้ำหนักแห้ง) 170 กรัม ผสมกัม (น้ำหนักแห้ง) ร้อยละ 0.1 ของแข็งหมัก ผสมแข็งหมักฟรีเจลาทีน (น้ำหนักแห้ง) 30 กรัม เทลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ เขย่าผสมแข็งหมัก กัม และแข็งฟรีเจลาทีนจนเข้ากันดี เทลงอ่างผสมของเครื่องนวดผสมไฟฟ้า ใช้หัวนวดใบไม้ เปิดเครื่องนวดใช้ความเร็วต่ำสุด ค่อยๆผสมน้ำ 120 กรัมจนหมด นวดนาน 5 นาที หลังจากนั้นใช้ความเร็วระดับปานกลาง นวดนาน 20 นาที ตักแข็งขนมจีนใส่กระบอคนวด โรยลงในน้ำเดือด จับเส้นวางลงในตะกร้า ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

5.1.1 ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส คัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

5.1.2 ตรวจสอบความชอบวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ (จากไม่ชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด) ด้านความชอบรวม เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองจึงให้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน ประเมินความชอบเพื่อคัดเลือกตัวอย่าง (ไพโรจน์, 2545)

5.2 หากัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ทดลองผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัม 3 ชนิด ความเข้มข้นของกัมระดับที่เหมาะสม (เลือกจากข้อ 5.1) บรรจุลงกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนมีฝาปิดมิดชิด จำนวน 10 จ๊ับ

การแช่เยือกแข็ง นำขนมจีนแป้งหมัก ขนมจีนผสมกัม 3 ชนิด ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยผลิตขนมจีนสูตรละ 1 ตัวอย่าง ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส 10 ซ้ำ และตรวจสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

5.2.1 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

แช่เยือกแข็งขนมจีน และนำมาคืนรูปเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.1

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมัก และขนมจีนผสมกัม 3 ชนิด ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ก่อนการแช่เยือกแข็ง, การคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ และวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ ตามวิธีข้อ 3.3.1 ข

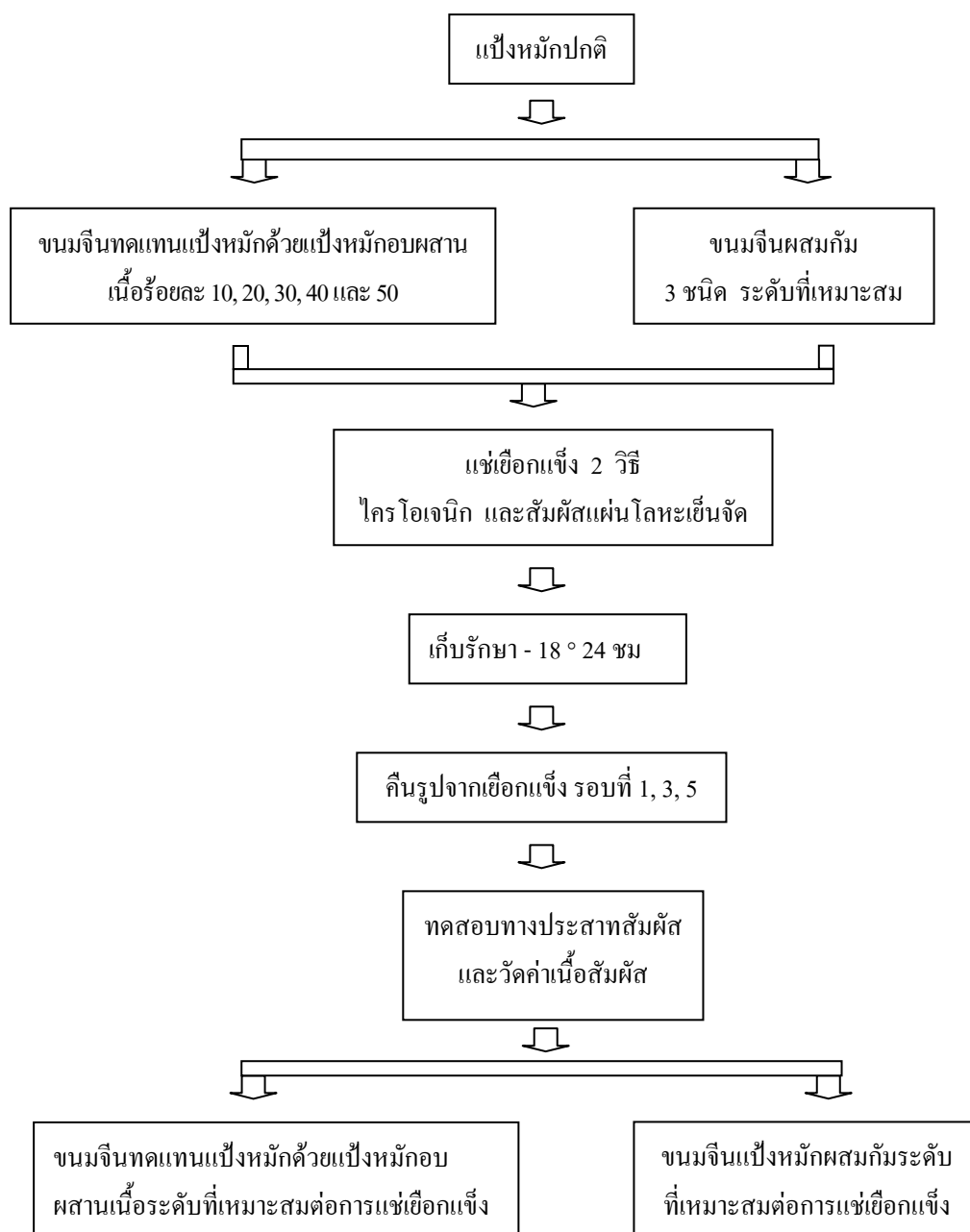
### 5.2.2 การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

แช่เยือกแข็งขนมจีน และนำมาคืนรูปเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกับ 3 ชนิด ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ก่อนการแช่เยือกแข็ง, การคืนรูปจากเยือกแข็งวิธีสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ตามวิธีข้อ 3.3.1 ข



ภาพที่ 19 กระบวนการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมจินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งอบผสานเนื้อ และขนมจินผสมกัมแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัสมัสด่วนโลหะเย็นจัด

## 6. ตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

ผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม และผลิตแกงเขียวหวานไก่บรรจุถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนปิดสนิท บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 500 มิลลิลิตร เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 และ -18 องศาเซลเซียส

### 6.1 การผลิตขนมจีน

ผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม โดยใช้ตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 3 และ 5 บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนมีฝาปิดสนิท

### 6.2 การผลิตแกงเขียวหวานไก่

ส่วนผสมแกงเขียวหวาน (ทิพาวรรณ, 2550)

| ส่วนผสม           | น้ำหนัก (กรัม) | ส่วนผสม       | น้ำหนัก (กรัม) |
|-------------------|----------------|---------------|----------------|
| พริกชี้ฟ้าเขียว   | 75             | เนื้อไก่      | 500            |
| ใบพริกหรือใบผักชี | 20             | มะพร้าว       | 500            |
| กระเทียม          | 35             | คั้นให้ได้น้ำ | 800            |
| ข่า               | 20             | มะเขือเปราะ   | 200            |
| รากผักชี          | 10             | ใบโหระพา      | 100            |
| กะปิ              | 30             | พริกชี้ฟ้า    | 100            |
| ลูกผักชีคั่วป่น   | 5              | ข้าวโพดอ่อน   | 200            |
| พริกชี้หนูสดเขียว | 20             | น้ำตาลมะพร้าว | 10             |
| หัวหอม            | 35             | ยี่หระคั่วป่น | 1              |
| ตะไคร้            | 15             | พริกไทย       | 5              |
| ผิวมะกรูด         | 5              | เกลือ         | 2              |

### วิธีการผลิต (ดัดแปลงจาก ทิพาวรรณ, 2550)

- 6.2.1 บดส่วนผสมของพริกแกงให้ละเอียด
- 6.2.2 นำพริกแกงเทลงในน้ำกะทิที่ต้มจนเดือด ได้น้ำแกงเขียวหวาน
- 6.2.3 ลวกเนื้อไก่ที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆในน้ำแกงต้มเดือด 5 นาที ใส่ภาชนะ
- 6.2.4 ลวกมะเขือเปราะ ข้าวโพดอ่อน และพริกชี้ฟ้าหั่น 2 นาที และใบโหระพาเด็ดเป็นใบๆ 1 นาที นำแช่ในน้ำเย็นทันที และใส่ภาชนะ
- 6.2.5 ปุ้งรสแกงเขียวหวานด้วยน้ำตาลมะพร้าว และน้ำปลาอุ่นจนเดือด
- 6.2.6 ชั่งไก่ต้มสุก 50 กรัม มะเขือเปราะลวก 20 กรัม ข้าวโพดอ่อน 20 กรัม พริกชี้ฟ้าลวก 10 กรัม และใบโหระพา 5 กรัม ใส่ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนแบบหนา
- 6.2.7 ใส่ น้ำแกงเขียวหวานปุ้งรสในถุงขณะร้อนจนได้น้ำหนักรวม 250 กรัม ปิดผนึกถุงทันที และแช่ในน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ

### 6.3 แช่เยือกแข็งขนมจีนแบบโครโอเจนิค

ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งเป็น  $-30^{\circ}\text{C}$  นำกล่องพลาสติกบรรจุขนมจีนวางเรียงบนถาดแช่เยือกแข็ง นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเสียบเข้ากับขนมจีนที่บรรจุในกล่องพลาสติก และวางถุงบรรจุแกงเขียวหวานไก่ ปรับให้อัตราเร่งอุณหภูมิภายในตู้ให้เป็น  $-80^{\circ}\text{C}$  ภายใน 3 นาที และควบคุมให้อุณหภูมิภายในตู้เป็น  $-80^{\circ}\text{C}$  แช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 ชม (ดัดแปลงจาก กุรอซียะห์, 2547; พัลลภ, 2549)

6.3.1 เก็บในตู้เย็น อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  สุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง หลังเก็บรักษาวันที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14

6.3.2 เก็บในตู้แช่เยือกแข็ง  $-18^{\circ}\text{C}$  สุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง หลังเก็บรักษาวันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 และ 63

#### 6.4 การตรวจสอบคุณภาพขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

ตรวจสอบคุณภาพขนมจีน นำผลิตภัณฑ์ขนมจีนมาอุ่น โดยอุ่นแยกกระหว่างขนมจีนกับแกงเขียวหวานไก่ ขนมจีนวางในภาชนะสำหรับนึ่งในเตาไมโครเวฟ นำเข้าเตาไมโครเวฟกำลังไฟ 1,000 วัตต์ ความถี่คลื่น 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ ระดับ 5 หรือครึ่งหนึ่งของกำลังไมโครเวฟ เวลา 3.30 วินาที และอุ่นแกงเขียวหวาน โดยตัดหมูงูออกเล็กน้อย และอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟใช้พลังงานระดับ 10 เต็มกำลังนาน 5 นาที (ไพโรจน์, 2545)

##### 6.4.1 เนื้อสัมผัส

ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50)

##### 6.4.2 ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส วิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ โดยให้คะแนนความแข็งลงบนเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร ในด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม สเกล 0 หมายถึงมีความแข็งน้อย สเกล 15 หมายถึงมีความแข็งมาก โดยทำการฝึกฝนผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ให้ผู้ทดสอบทดลองชิมตัวอย่างขนมจีนแป็งหมักปกติที่ผลิตในห้องปฏิบัติการเป็นขนมจีนที่มีความเรียบมาก มีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมาก และความชุ่มน้อย และขนมจีนแป็งหมักปกติผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 เป็นขนมจีนที่มีความเรียบน้อย ความแน่นเนื้อมาก ความยืดหยุ่นน้อย และความชุ่มมาก และตรวจสอบความชอบวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ (จากไม่ชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด) ด้านความชอบรวม ผู้ทดสอบให้คะแนน 1-4 คือ ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ คะแนน 5-9 คือยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองจึงใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ประเมินความชอบเพื่อคัดเลือกตัวอย่าง

##### 6.4.3 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

เตรียมตัวอย่างขนมจีนแป็งหมักปกติเก็บรักษาในตู้แช่เย็น 4 องศาเซลเซียส และตู้แช่เยือกแข็ง -18 °ซ แล้วสุ่มมาตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ดังนี้

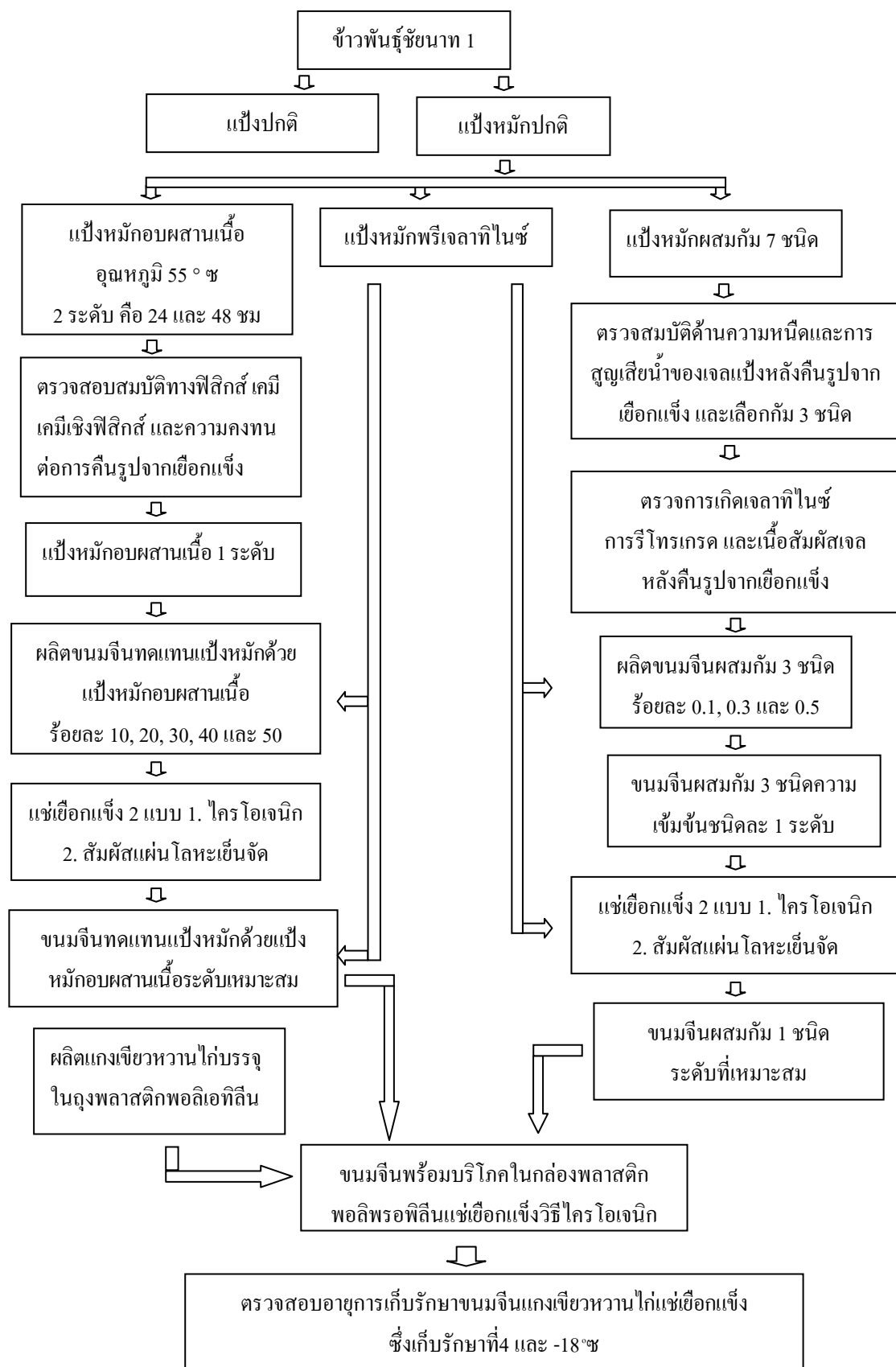
เก็บในตู้เย็น อุณหภูมิ 4° ซ กลุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีน และแกง  
เจียวหวานไก่ก่อนแช่เยือกแข็ง เก็บรักษาวันที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 วัน โดยตีผสมขนมจีนรวม  
กับแกงเจียวหวานไก่ทันที ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์วันเริ่มต้น และวันที่ 14 ตามข้อ ก-ข และ  
วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตรวจสอบเฉพาะปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

เก็บในตู้แช่เยือกแข็ง -18 ° ซ กลุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีน และแกง  
เจียวหวานไก่ก่อนแช่เยือกแข็ง วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 โดยตีผสมขนมจีนรวมกับ  
แกงเจียวหวานไก่ทันที ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์วันเริ่มต้น และวันที่ 63 ตามข้อ ก-ข และวันที่ 7,  
14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 และ 63 ตรวจสอบเฉพาะปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

- ก. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)
- ข. โคลิฟอร์ม (*Coliform*) ตามวิธี most probable number technique (MPN)  
วิเคราะห์ตาม BAM (2001)
- ค. อี.โคไล (*E. coli*) ตามวิธี most probable number technique (MPN) วิเคราะห์  
ตาม BAM (2001)
- ง. สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (*S. aureus*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)
- จ. บาซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)
- ฉ. คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*C. perfringens*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)
- ช. วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*V. Parahaemolyticus*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)
- ซ. ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) วิเคราะห์ตาม ISO 6579 2002

เปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เยือกแข็งต้องอุ่นก่อนบริโภค ของ  
กองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

การปรับปรุงเส้นขนมจีนหมักเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งมีขั้นตอนการทดลองโดยสรุปดังนี้คือ ผลิตแป้งปกติ (อรพรรณ, 2547) แป้งหมักปกติ (ภควัฒน์, 2547) แป้งหมักพรีเจลาไทน์ (ภควัฒน์, 2547) และแป้งหมักอบผานเนื่องจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 24 และ 48 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 66 หลังจากนั้นแบ่งขั้นตอนเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง จากนั้นผลิตขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด และคัดเลือกกระดับการทดแทนแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสม 5 ระดับคือ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ส่วนที่สอง นำแป้งหมักปกติ ผสมกับ 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกัวร์ กัมโลกัสปิน กัมคาร์ราจีแนน กัมอาร์บิก และกัมแอลจินต ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด และร้อยละการสูญเสีย น้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง คัดเลือกกัม 3 ชนิด ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลาไทน์ และการเกิดรีโทรเกรด ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแป้งหมักผสมกัมหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง หลังจากนั้นหาปริมาณของกัม 3 ชนิดที่เหมาะสมกับการผลิตขนมจีนชนิดละ 3 ระดับความเข้มข้น คือ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ผลิตขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด คัดเลือกขนมจีนผสมกัมที่เหมาะสม หลังจากนั้นผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแช่เยือกแข็ง และผลิตแกงเขียวหวานไก่ซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนแบบหนาบรรจุลงถุง หลังจากนั้นนำขนมจีน และแกงเขียวหวานไก่บรรจุลงกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีน แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ตรวจสอบอายุการเก็บรักษา อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน และ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 กระบวนการทดลองรวมทั้งหมด

## 9. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

คำนวณผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการตรวจสอบคุณภาพทางฟิสิกส์ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (randomized complete design) และวิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีใช้การทดสอบตามวิธีการแบบ DMRT (Duncan ,s new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 10. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี, ห้องปฏิบัติการข้าวและสสารฯ, ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ และอาคารแปรรูปของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ฝ่ายเครื่องมือกลาง สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ห้องปฏิบัติการเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกชัน ศูนย์วิจัยวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ห้องปฏิบัติการเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริเมตรี บริษัทเมทเลอร์ โทเลโด ประเทศไทยจำกัด

## 11. ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรสตาบิลิซอร์ผสมไขมัน

เมื่อตัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 หมักด้วยวิธีการอบผสมเนื้อ ที่ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีความชื้นร้อยละ 66 เป็นเวลา 24 และ 48 ชม นำมาตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักอบผสมเนื้อ ได้ผลดังนี้

#### 1.1 สมบัติทางฟิสิกส์

ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของสตาบิลิซอร์ในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อ คือ ตรวจสอบขนาด และรูปร่างของสตาบิลิซอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตรวจสอบค่าสีของแป้งด้วยเครื่องวัดสี ปรากฏว่า

##### 1.1.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาบิลิซอร์ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน

เมื่อตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาบิลิซอร์ในแป้งข้าวเจ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน กำลังขยาย 1,000 เท่า เม็ดสตาบิลิซอร์ของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อ มีรูปร่างหลายเหลี่ยม ขนาดประมาณ 3.54-3.56 ไมโครเมตร เม็ดสตาบิลิซอร์ในแป้งปกติมีขนาด 3.55 ไมโครเมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเม็ดสตาบิลิซอร์ในแป้งหมักปกติซึ่งมีขนาด 3.56 ไมโครเมตร เมื่อผ่านการอบผสมเนื้อ เม็ดสตาบิลิซอร์ในแป้งหมักปกติมีขนาดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเม็ดสตาบิลิซอร์ในแป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 (3.54 ไมโครเมตร) และ 48 ชม (3.54 ไมโครเมตร) จากการส่องดูขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมัก และการอบผสมเนื้อ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาบิลิซอร์ (แสดงดังตารางที่ 6 และภาพที่ 21)

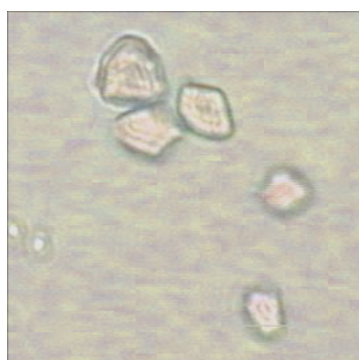
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบขนาดของเม็ดสตาโรซในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันต 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | ขนาดของเม็ดสตาโรซ (ไมโครเมตร) <sup>3/</sup> |
|------------------------|---------------------------------------------|
| NRF                    | 3.55±0.09                                   |
| FRF                    | 3.56±0.12                                   |
| ANF24                  | 3.54±0.13                                   |
| ANF48                  | 3.54±0.11                                   |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวัด 5 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง

<sup>2/</sup> NRF คือ แป้งปกติ, FRF คือ แป้งหมักปกติ, ANF24 คือ แป้งหมักอบสแกนเนื้อ 24 ชม, ANF48 คือ แป้งหมักอบสแกนเนื้อ 48 ชม

<sup>3/</sup> ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



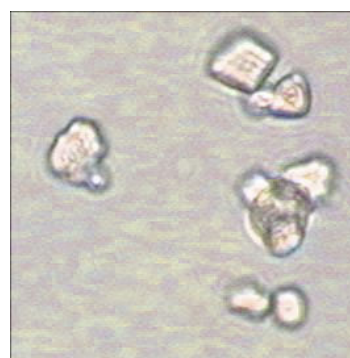
NRF



FRF



ANF24

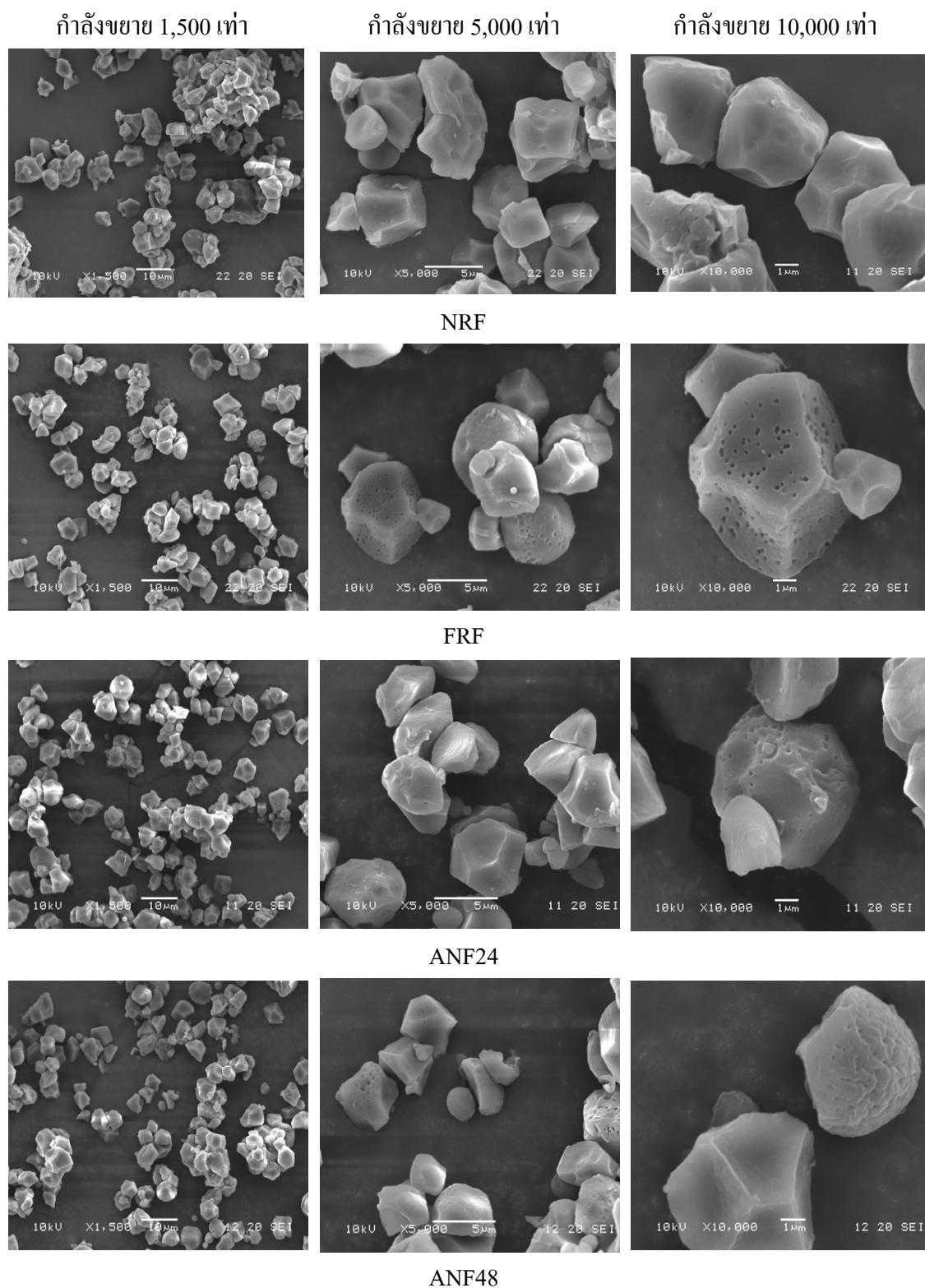


ANF48

ภาพที่ 21 ขนาดเม็ดสตาโรซในแป้งปกติ (NRF) แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบสแกนเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน กำลังขยาย 1,000 เท่า

### 1.1.2 ผลการตรวจสอบขนาดเมื่อดำเนินการด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เมื่อตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,500, 5,000 และ 10,000 เท่า เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อมีขนาด 3-4 ไมครอน เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติมีรูปร่างหลายเหลี่ยมเช่นเดียวกับการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน มีผิวเรียบ จับกันเป็นกลุ่มก้อน มีเยื่อหุ้มเม็ดสตาร์ช ทำให้เห็นเหลี่ยมของเม็ดสตาร์ชไม่ชัดเจน ขณะที่เม็ดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อมีรูปร่างหลายเหลี่ยมเช่นกัน เม็ดสตาร์ชแยกออกจากกัน มีเหลี่ยมของสตาร์ชชัดเจน นอกจากนี้ยังมีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ชเป็นจำนวนมาก ขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ขนาด และรูปร่างเม็ดสตาร์ชแป้งปกติ (NRF) แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบ  
 ผสานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง  
 กราด กำลังขยาย 1,500, 5,000 และ 10,000 เท่า

สอดคล้องกับผลการตรวจสอบขนาดของเมื่อดสตาร์ช ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านกำลังขยาย 1,000 เท่า เมื่อดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อมีขนาด 3.54-3.56 ไมครอน และขนาดเมื่อดสตาร์ชของแป้งแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อมีรูพรุนเกิดขึ้นแตกต่างจากแป้งปกติ อาจเกิดจากกระบวนการหมักมีจุลินทรีย์เกิดขึ้นและสร้างเอนไซม์ย่อยเมื่อดสตาร์ช ทำให้เกิดรูพรุน ทำนองเดียวกับผลการทดลองของภควัฒน์ และอรอนงค์ (2548) ซึ่งตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 ที่ผ่านกระบวนการหมัก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 10,000 เท่า ได้ผลว่าเมื่อดสตาร์ชมีขนาดเท่าเดิม บริเวณผิวของเมื่อดสตาร์ชมีรูพรุนเช่นกัน

ขนาดของเมื่อดสตาร์ชในแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม ไม่แตกต่างกับแป้งหมักปกติ และแป้งปกติ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Adebawale *et al.* (2005) ทดลองอบผสานเนื้อสตาร์ชข้าวฟ่างเกอร์มิลเลต อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความชื้นร้อยละ 40 เป็นเวลา 48 ชม ส่องดูขนาดเมื่อดสตาร์ชอบผสานเนื้อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า ได้ผลว่าเมื่อดสตาร์ชอบผสานเนื้อยังคงมีขนาด และรูปร่างเหมือนสตาร์ชปกติ

เมื่อเปรียบเทียบขนาดเมื่อดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปรากฏว่ามีขนาดใกล้เคียงกัน อาจเกิดจากกระบวนการอบผสานเนื้อส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเมื่อดสตาร์ช การส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถมองเห็นเพียงผิว และลักษณะโครงสร้างภายนอกเท่านั้น จึงไม่ปรากฏความแตกต่างด้านขนาดของสตาร์ช

### 1.1.3 ผลการตรวจสอบค่าสี

เมื่อตรวจสอบค่าสีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม รายงานเป็นค่า L บอกค่าความสว่าง ค่าเป็น 0 หมายถึงมืดดำ ค่าเป็น 100 หมายถึงสว่างขาว ค่า  $a^*$  บอกค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว  $a^*$  มีค่าเป็นบวก หมายถึงสีแดง เป็นลบ หมายถึง

สีเขียว และ  $b^*$  บอกค่าความเป็นสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน  $b^*$  มีค่าเป็นบวก หมายถึงสีเหลือง เป็นลบ หมายถึงสีน้ำเงิน ผลการทดลองปรากฏว่า (แสดงดังตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสีแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | ค่าสี <sup>3/</sup> |             |            |
|------------------------|---------------------|-------------|------------|
|                        | L                   | a*          | b*         |
| NRF                    | 97.45±0.43a         | 0.11±0.01a  | 3.48±0.05a |
| FRF                    | 95.16±0.07b         | -0.21±0.02b | 4.11±0.04b |
| ANF24                  | 94.12±0.52b         | -0.33±0.01c | 4.29±0.06c |
| ANF48                  | 93.03±0.53c         | -0.40±0.02d | 4.37±0.03c |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6  
<sup>3/</sup> ค่า L คือ ความสว่างของสี มีค่า 0-100 (L=0 คือ สีดำ L=100 คือ สีขาว),  
 ค่า  $a^*$  คือ ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (ค่า  $-a^*$  หมายถึง สีเขียว ค่า  $+a^*$  หมายถึง สีแดง),  
 ค่า  $b^*$  คือ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่า  $-b^*$  หมายถึง สีน้ำเงิน ค่า  $+b^*$  หมายถึง สีเหลือง)

เมื่อเปรียบเทียบค่า L ของแป้งปกติมีค่าความสว่างเป็น 97.45 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 95.16 เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (94.12) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (93.03)

เมื่อเปรียบเทียบค่า  $a^*$  ของแป้งปกติมีค่า  $a^*$  เป็น 0.11 แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่า  $a^*$  เปลี่ยนเป็น -0.21 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักมีผลให้แป้งหมักปกติมีค่าสีเปลี่ยนเป็นค่อนข้างไปทางเขียว เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม การอบผานเนื้อมีผลทำให้แป้งหมักอบผานเนื้อมีค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้นเป็น -0.33 และ -0.40 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่า  $b^*$  แป้งปกติมีค่า  $b^*$  เป็น 3.48 มีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 4.11 เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็น 4.29 และ 4.37 ตามลำดับ โดยแป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

กระบวนการหมักทำให้แป้งหมักปกติมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากแป้งปกติ มีความสว่าง (L) ลดลง ค่า  $a^*$  เปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว และมีความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อแป้งหมักปกติผ่านกระบวนการอบผานเนื้อ การอบผานเนื้อนี้มีผลทำให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความสว่างลดลง มีความเป็นสีเขียว และความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแอมิโน กับน้ำตาลรีดิวซิงในแป้ง หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้แป้งหมักมีความสว่างลดลง มีสีค่อนข้างเหลืองเพิ่มขึ้น (Liu *et al.* 2005)

## 1.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมี

จากการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม (ตารางที่ 8) ได้ว่าแป้งปกติมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า เป็นร้อยละ 8.49, 7.74, 0.73 และ 0.68 ตามลำดับ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 7.76, 4.58, 0.57 และ 0.25 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลส แป้งปกติมีปริมาณแอมิโลส (35.62) น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ (37.53)

เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติ กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ปรากฏว่าแป้งหมักปกติมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 7.43, 4.64, 0.55 และ 0.24 ตามลำดับ และ 48 ชม มีค่าเป็น 7.71, 4.42, 0.55 และ 0.91 ตามลำดับ ส่วนปริมาณแอมิโลส แป้งหมักปกติมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (35.11) และ 48 (34.78) ชม

ปริมาณโปรตีนของแป้งปกติน้อยกว่า ส่วนไขมัน เถ้า และแอมิโลสของแป้งปกติมากกว่าแตกต่างกับผลการวิจัยของ Varavinit *et al.* (2003) ได้ตรวจสอบปริมาณโปรตีน (10.18) ไขมัน (0.31) เถ้า (0.32) และแอมิโลส (23.98) ของแป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และผลการ

ทดลองของ พลกฤษณ์ (2547) ซึ่งได้ผลการตรวจสอบปริมาณโปรตีน (8.63) ไขมัน (0.32) และแอมิโลส (27.0) ของแป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

การแตกต่างกันขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ กับผลการทดลองของ Varavinit *et al.* (2003) และ พลกฤษณ์ (2547) อาจเกิดจากความแตกต่างกันของพื้นที่การเพาะปลูก และระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว ส่งผลให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกัน (อรอนงค์, 2547)

สาเหตุที่องค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติมีค่ามากกว่าแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากระหว่างกระบวนการหมักมีการแช่ข้าว และล้างหลายครั้งส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีบางส่วนละลาย และหลุดออกไปกับน้ำ แป้งหมักปกติจึงมีองค์ประกอบทางเคมีต่ำกว่าแป้งปกติ (ภควัฒน์ และ อรอนงค์, 2548)

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ) |            |            |            |               |
|------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|---------------|
|                        | ความชื้น                   | โปรตีน     | ไขมัน      | เถ้า       | แอมิโลส       |
| NRF                    | 8.49±0.02a                 | 7.74±0.06a | 0.73±0.01a | 0.68±0.01a | 35.62±0.09 b  |
| FRF                    | 7.76±0.02b                 | 4.58±0.30b | 0.57±0.01b | 0.25±0.01b | 37.53±0.31 a  |
| ANF24                  | 7.73±0.00b                 | 4.64±0.51b | 0.55±0.01b | 0.24±0.01b | 35.11±0.03 bc |
| ANF48                  | 7.71±0.07b                 | 4.42±0.09b | 0.55±0.01b | 0.91±0.01b | 34.78±0.55 c  |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนั่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

### 1.3 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตรัซในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และ แป้งหมักอบสัณเ็น 24 และ 48 ชม คือ ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ค่ากำลังการพองตัว ร้อยละการละลาย และความเป็นผลึกของสตรัซ

ในแป้งด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์เพื่อทราบถึงผลของการหมัก และการอบผสมเนื้อ หลังจากนั้นตรวจสอบบัติการเกิดเจลลาทีโนสของสตาร์ชในแป้ง การเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้งด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเทียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ และตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 และ 48 ชม

### 1.3.1 ผลสมบัติด้านความหนืด

เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว แป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อ มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืด คือ (แสดงดังตารางที่ 9 และภาพที่ 23)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

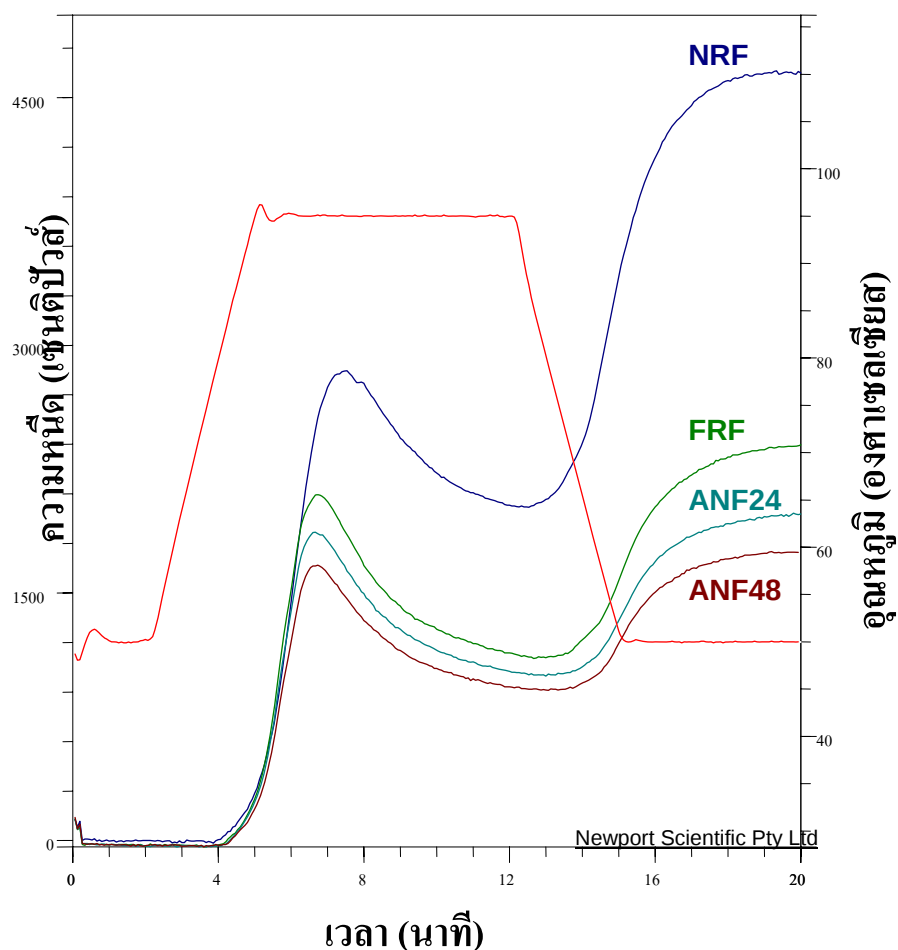
| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | อุณหภูมิเริ่มต้น<br>(°ซ) | สมบัติด้านความหนืด (เซนติปัวส์) |                  |                            |                  |                       |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------------|-----------------------|
|                        |                          | ความหนืดสูงสุด                  | ความหนืดต่ำสุด   | ความหนืดลดลง <sup>3/</sup> | ความหนืดสุดท้าย  | เซตแบบค <sup>4/</sup> |
| NRF                    | 86.81±0.56 c             | 2,848.33±15.63 a                | 1,579.67±44.61 a | 1,268.67±29.37 a           | 4,703.00±50.69 a | 3,123.33±38.55 a      |
| FRF                    | 87.90±1.00 b             | 2,090.00±17.58 b                | 1,088.33±24.58 b | 1,001.67±8.50 b            | 2,390.00±7.55 b  | 1,301.67±17.67 b      |
| ANF24                  | 91.31±0.63 b             | 1,759.00±7.81 c                 | 952.33±14.57 c   | 806.67±8.96 c              | 1,878.00±19.52 c | 925.67±15.53 c        |
| ANF48                  | 93.28±0.54 a             | 1,714.33±10.97 d                | 945.00±15.72 d   | 769.33±15.31 d             | 1,776.33±22.30 d | 831.33±11.50 d        |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

<sup>3/</sup> ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด

<sup>4/</sup> ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้าย และความหนืดต่ำสุด



ภาพที่ 23 สมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ (NRF), แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว

ก. อุณหภูมิเริ่มหนืด แป้งปกติมีอุณหภูมิเริ่มหนืดเป็น  $86.81^{\circ}\text{C}$  น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มหนืด  $87.90^{\circ}\text{C}$  ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มหนืดไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ ( $p > 0.05$ ) แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม ( $91.31$ ) แต่น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าเป็น  $93.28^{\circ}\text{C}$  เม็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม สามารถทนต่อความร้อนได้มากกว่าสตาร์ชในแป้งหมักปกติ และแป้งปกติจึงทำให้มีอุณหภูมิเริ่มหนืดสูง

ข. ความหนืดสูงสุด แป้งปกติมีความหนืดสูงสุด 2,848 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ (2,090 เซนติปัวส์) เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติสามารถพองตัว และทำให้เกิดความหนืดสูงสุดได้มากกว่าสตาร์ชในแป้งหมักปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อซึ่งมีความหนืดสูงสุดเป็น 1,759 และ 1,714 เซนติปัวส์ ตามลำดับ การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวได้น้อยลง ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งหมักปกติจึงมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

ค. ความหนืดต่ำสุด แป้งปกติมีค่าความหนืดต่ำสุด 1,579 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ (1,088 เซนติปัวส์) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (952 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (945 เซนติปัวส์) การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้ค่าความหนืดต่ำสุดลดลงจากแป้งหมักปกติ

ง. ความหนืดลดลง แป้งปกติมีความหนืดลดลงเป็น 1,268 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ (1,001 เซนติปัวส์) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดลดลงมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (806 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (769 เซนติปัวส์) แสดงว่าการอบผานเนื้อส่งผลให้เม็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อคงทนต่อแรงกวนมากขึ้น

จ. ความหนืดสุดท้าย แป้งปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 4,703 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ (2,390 เซนติปัวส์) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (3,323 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (3,169 เซนติปัวส์) การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้ความหนืดสุดท้ายลดลงจากแป้งหมักปกติ

ฉ. เซตแบค แป้งปกติมีเซตแบคเป็น 3,123 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 1,301 เซนติปัวส์ เมื่ออบผานเนื้อแป้งหมักปกติ 24 (925 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (831 เซนติปัวส์) การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้ค่าเซตแบคของแป้ง

หมักอบผานเนื้อลดลงจากแป้งหมักปกติ แสดงให้เห็นว่าแป้งปกติ และแป้งหมักปกติมีความคงทนต่อการเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

แป้งหมักปกติมีสมบัติด้านความหนืดมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chiewcherngka and Naivikul (2005) ทดลองอบผานเนื้อแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 เวลา 4, 12, 24 และ 48 ชม อุณหภูมิ 55 °ซ ความชื้นร้อยละ 66 ได้ผลว่า เมื่อระยะเวลาการอบผานเนื้อเพิ่มขึ้นค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบบของแป้งปกติมากกว่าแป้งอบผานเนื้อ

จากผลการอบผานเนื้อแป้งหมัก ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าสตาร์ช ปรากฏว่าแป้งหมักปกติมีสมบัติด้านความหนืดมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อคล้ายคลึงกับผลการทดลองของ สุภาวดี และปริศนา (2550) ทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 อุณหภูมิ 50 °ซ 24, 36 และ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า สตาร์ชปกติ (3,996 เซนติปัวส์) มีความหนืดสูงสุดมากกว่าสตาร์ชอบผานเนื้อ 24 (3,823 เซนติปัวส์), 36 (3,034 เซนติปัวส์) และ 72 ชม (2,835 เซนติปัวส์) แสดงให้เห็นว่าการอบผานเนื้อส่งผลให้เมล็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อมีสมบัติด้านความหนืดลดลง

เมื่อตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งปกติมีค่าอุณหภูมิเริ่มหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง และเซตแบบมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากในระหว่างกระบวนการหมักจุลินทรีย์ในธรรมชาติสร้างเอนไซม์ย่อยเมล็ดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ (ภควัฒน์ และอรอนงค์, 2548) เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติจึงมีความแข็งแรง ทนต่อสภาวะอุณหภูมิสูง และน้ำมากเกินไปมากกว่าสตาร์ชในแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการส่องดูเมล็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติไม่มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้น้ำสามารถเข้าไปสลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลของเม็ดสตาร์ชในแป้งปกติได้น้อยกว่าเม็ดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ แป้งปกติจึงมีสมบัติด้านความหนืดสูงกว่าแป้งหมักปกติ

เมื่ออบผานเนื้อแป้งหมัก 24 และ 48 ชม ปรากฏว่า แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบบมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ แสดงให้เห็นว่าการอบผานเนื้อส่งผลให้เมล็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อมีการพอง

ตัวระหว่างเริ่มหนึ่ลดลง เมื่ออุณหภูมิของระบบแข่งกับน้ำสูงถึง 95 °ซ เม็ดสตา์ซในแป้งหมักปกติสามารถพองตัวได้มากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ ค่าความหนึ่สูงสุดของแป้งหมักปกติจึงมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ และเมื่ออุณหภูมิของระบบลดลงถึง 50 °ซ ค่าความหนึ่สุดท้ายของแป้งหมักปกติมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ อาจเกิดจากเม็ดสตา์ซในแป้งหมักปกติมีการซึมผ่านของสายเอมิโลสออกจากเม็ดสตา์ซมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ ทำให้เจลแป้งหมักปกติเกิดรีโทรเกรตมากกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ ความหนึ่ของเจลแป้งหมักปกติจึงมากกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ

### 1.3.2 ผลสมบัติการพองตัว

จากตารางที่ 10 เมื่อตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, และ 85 องศาเซลเซียส ได้ผลว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังการพองตัวของสตา์ซในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆ มีดังนี้

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | อุณหภูมิ (°ซ) |            |             |             |
|------------------------|---------------|------------|-------------|-------------|
|                        | 55            | 65         | 75          | 85          |
| NRF                    | 2.41±0.02a    | 5.50±0.55c | 7.52±0.50d  | 10.23±1.01d |
| FRF                    | 2.15±0.02b    | 9.17±0.73a | 13.43±0.96a | 23.60±1.11a |
| ANF24                  | 2.10±0.04b    | 7.12±0.65b | 10.93±0.47b | 17.09±1.02b |
| ANF48                  | 1.93±0.07c    | 3.87±0.07d | 8.91±0.60c  | 15.71±0.27c |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

ก. อุณหภูมิ 55 °ซ แป้งปกติมีกำลังการพองตัว 2.41 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติมีค่าเป็น 2.15 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับแป้งหมัก

อบผานเนื้อ 24 ชม (2.12) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (1.93) เม็ดสตา์ชในแป้งปกติสามารถพองตัวในอุณหภูมิก่อนเกิดเจลาทิไนซ์ได้มากกว่าแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ เมื่อแป้งหมักผ่านการอบผานเนื้อ สตา์ชในแป้งหมักปกติมีการพองตัวมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อที่ 48 ชม

ข. อุณหภูมิ 65 °ซ แป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวเป็น 5.50 น้อยกว่าแป้งหมักปกติซึ่งมีค่ากำลังการพองตัว (9.17) มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการพองตัวมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (7.12) และ 48 ชม (3.87) กระบวนการหมักมีผลให้สตา์ชในแป้งปกติมีค่าการพองตัวน้อยกว่าแป้งหมักปกติ แต่การอบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองตัวมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

ค. อุณหภูมิ 75 °ซ แป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวเป็น 7.52 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่ากำลังการพองตัวมากที่สุดเป็น 13.43 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ กับแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองตัวมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เป็น 10.93 และ 8.91 ตามลำดับ ณ อุณหภูมิเจลาทิไนซ์ กระบวนการหมักทำให้สตา์ชในแป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งหมักปกติ แต่การอบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

ง. อุณหภูมิ 85 °ซ แป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวเป็น 10.23 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่ากำลังการพองตัวมากที่สุดคือ 23.60 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการพองตัวมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เป็น 17.09 และ 15.71 ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ กระบวนการหมักทำให้สตา์ชในแป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งหมักปกติ แต่การอบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

จากผลการทดลอง Hoover and Vasanthan (1994) ทดลองสกัดสสารข้าวสาลี และข้าวโอต และอบผานเนื้อ 50 °ซ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 95 °ซ สภาวะมีน้ำมากเกินไป สสารข้าวสาลี (28.6) และสสารข้าวโอตปกติ (25.7) มีกำลังการพอง มากกว่าสสารข้าวสาลีอบผานเนื้อ (18.9) และสสารข้าวโอตอบผานเนื้อ (19.8) และคล้ายคลึง กับผลการทดลองของ Waduge *et al.* (2006) อบผานเนื้อสสารข้าวบาร์เลย์เอ็มโอสสูง 50 °ซ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ สภาวะมีน้ำมากเกินไป สสาร ข้าวบาร์เลย์เอ็มโอส สูงปกติมีกำลังการพองตัวมากกว่าสสารชอบผานเนื้อในทุกอุณหภูมิ แสดง ให้เห็นว่าแม้ในการทดลองไม่ได้อบผานเนื้อสสาร แต่ผลการทดลองอบผานเนื้อแป้งหมัก ให้ผลคล้ายคลึงกับ Hoover and Vasanthan (1994) และ Waduge *et al.* (2006)

จากการตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้ง หมักอบผานเนื้อ แป้งปกติมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55 °ซ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ แต่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 °ซ แป้งปกติมีกำลังการพองตัวน้อยกว่า แป้งหมักปกติ เกิดจากแป้งหมักปกติมีรูพรุนจำนวนมาก สอดคล้องกับผลการส่องดูเมล็ดสสารด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งเกิดจากการย่อยของเอนไซม์ และกรดอ่อนระหว่าง กระบวนการหมัก เมื่ออยู่ในสภาวะมีน้ำมากเกินไป และอุณหภูมิสูงถึง 65 °ซ น้ำสามารถซึมเข้าไป ในเมล็ดสสารได้มากกว่าแป้งปกติ ทำให้แป้งหมักปกติสามารถพองตัวได้มากกว่าแป้งปกติ เมื่อ เปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้ง หมักอบผานเนื้อที่ 48 ชม โดยเมื่อเวลาการอบผานเนื้อมากขึ้นกำลังการพองตัวของเมล็ดสสารใน แป้งหมักอบผานเนื้อลดลง

### 1.3.3 ผลสมบัติการละลาย

เมื่อตรวจสอบค่าการละลายของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผานเนื้อ อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ ตามลำดับ ได้ผลว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการละลาย ของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่างๆ มีดังนี้ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบการละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | อุณหภูมิ (°ซ) |             |              |              |
|------------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|
|                        | 55            | 65          | 75           | 85           |
| NRF                    | 2.07±0.02 b   | 3.11±0.08 b | 7.24±0.58 b  | 9.66±0.56 d  |
| FRF                    | 2.32±0.04 a   | 6.82±0.98 a | 14.04±1.02 a | 21.73±0.79 a |
| ANF24                  | 2.02±0.18 b   | 3.01±0.89 b | 8.50±0.48 b  | 18.07±1.44 b |
| ANF48                  | 1.62±0.06 c   | 2.61±0.10 b | 7.74±1.52 b  | 13.87±0.92 c |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

อุณหภูมิ 55 °ซ แป้งปกติมีค่าการละลายเป็นร้อยละ 2.07 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าร้อยละ 2.32 เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 ชม และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม เป็นร้อยละ 2.02 และ 1.62 ตามลำดับ กระบวนการหมักทำให้สสารในแป้งปกติมีการละลาย ณ อุณหภูมิก่อนการเกิดเจลลาไทน์น้อยกว่าแป้งหมักปกติ และเมื่ออบผสานเนื้อทำให้สสารในแป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผสานเนื้อ

อุณหภูมิ 65 °ซ แป้งปกติมีการละลายเป็นร้อยละ 3.11 น้อยกว่าแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าร้อยละ 6.82 เมื่อผ่านอบผสานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 3.01 และ 2.61 ตามลำดับ แป้งหมักอบผสานเนื้อทั้งสองมีค่าการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

อุณหภูมิ 75 °ซ แป้งปกติมีค่าการละลายเป็นร้อยละ 7.24 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติมีค่าร้อยละ 14.04 เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผสานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 8.50 และ 7.74 ตามลำดับ แป้งหมักอบผสานเนื้อทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิเจลลาไทน์ การละลายของสสารในแป้งปกติน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

และเมื่ออบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

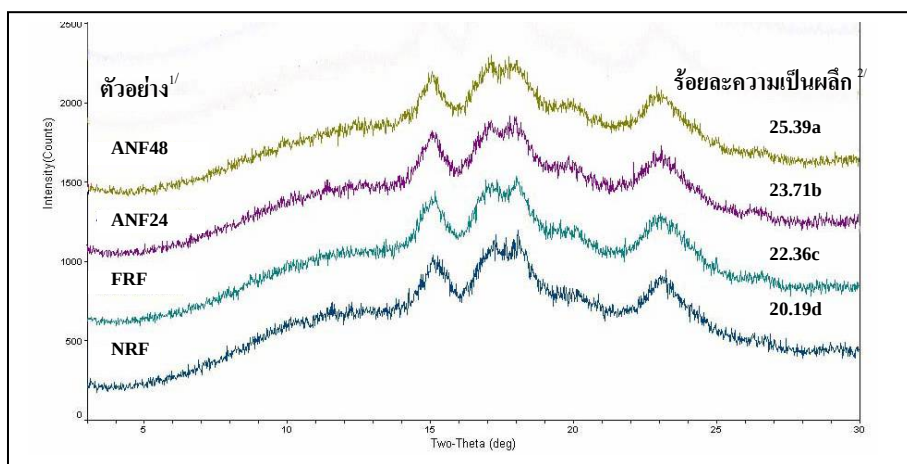
อุณหภูมิ 85 °ซ แป้งปกติมีค่าการละลายร้อยละ 9.66 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติมีค่าร้อยละ 21.73 เมื่ออบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 18.07) และ 48 ชม (ร้อยละ 13.87) อุณหภูมิสูงเกินกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ สตา์ชในแป้งปกติมีการละลายน้อยกว่าแป้งหมักปกติ และเมื่ออบผานเนื้อ สตา์ชในแป้งหมักปกติมีการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ การอบผานเนื้อ 24 ชม ทำให้สตา์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ละลายได้น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

จากการทดลองของ Hoover and Vasanathan (1994) ทดลองสกัดสตา์ชข้าวสาลีและข้าวโอต และอบผานเนื้อ 50 °ซ 72 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 95 °ซ สภาพะที่มึ่น้ำมากเกินพอ สตา์ชข้าวสาลีปกติ (ร้อยละ 10.9) และสตา์ชข้าวโอตปกติ (ร้อยละ 12.3) มีปริมาณแอมิโลสมากกว่าสตา์ชข้าวสาลีอบผานเนื้อ (ร้อยละ 9.3) และสตา์ชข้าวโอตอบผานเนื้อ (ร้อยละ 11.8) และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Waduge *et al.* (2006) สกัดสตา์ชข้าวบาร์เลย์แอมิโลส และอบผานเนื้อ สูง 50 °ซ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ สภาพะที่มึ่น้ำมากเกินพอ สตา์ชข้าวบาร์เลย์แอมิโลสสูงมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าสตา์ชอบผานเนื้อในทุกอุณหภูมิ ถึงแม้ว่าในการทดลองเป็นการอบผานเนื้อแป้งหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อทำให้แป้งหมักมีสมบัติคล้ายคลึงกับการอบผานเนื้อสตา์ช

แป้งปกติมีค่าการละลายน้อยกว่าแป้งหมักปกติในอุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ อาจเกิดจากระหว่างกระบวนการหมักมีจุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ย่อยสตา์ชในแป้งหมักปกติทำให้เกิดเป็นกรดอินทรีย์ ย่อยเม็ดสตา์ช เมื่ออยู่ในสภาพะที่มึ่น้ำมากเกินพอ และอุณหภูมิสูง น้ำสามารถเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของเม็ดสตา์ชแป้งหมักปกติได้มากกว่าแป้งปกติ ทำให้เม็ดสตา์ชแป้งปกติพองตัว และละลายได้น้อยกว่าแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการอบผานเนื้อแป้งหมักปกติ 24 และ 48 ชม ปรากฏว่า เมื่อเวลาในการอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม โดยการอบผานเนื้อที่ 24 ชม มีค่าการละลายมากกว่าการอบผานเนื้อ 48 ชม

### 1.3.4 ผลการตรวจสอบสมบัติความเป็นผลึก

สมบัติความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชสามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่องเอกซ-เรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ บอกได้ถึงร้อยละความเป็นผลึก และชนิดรูปร่างโครงสร้างผลึกของสตาร์ช ผลปรากฏดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ระดับความเป็นผลึกของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6  
<sup>2/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึกของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction) ปรากฏพีกหลักที่ตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ 15 องศา จำนวน 1 พีก ตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ 17-18 องศา จำนวน 2 พีก ที่เชื่อมต่อกัน และตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ 23 องศา จำนวน 1 พีก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อเป็นรูปแบบของโครงสร้างผลึกแบบเอ (A-type)

เมื่อคำนวณค่าร้อยละระดับความเป็นผลึก (degree of crystallinity) จากสัดส่วนของพื้นที่บริเวณใต้พีกตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ 15, 17-18 และ 23 ต่อพื้นที่รวมทั้งหมดของสเปกตรัมที่วัดได้ ปรากฏว่า แป้งปกติมีค่าระดับความเป็นผลึกร้อยละ 20.19 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีระดับความเป็นผลึกร้อยละ 22.36 เมื่อผ่านการอบผานเนื้อนานขึ้น

เมื่อดูดาวของแป้นหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 23.71 และ 25.39 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังปรากฏฟิสิกที่ตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ 20 ชัดเจนขึ้นเมื่อทำการอบผานเนื้อมานานขึ้น แสดงให้เห็นว่าแป้นหมักอบผานเนื้อทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของเอมิโลสโดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับลิพิด คือ มีโครงสร้างผลึกแบบเอ (A-type) ผสมกับโครงสร้างผลึกแบบบี (V-type)

จากผลการทดลองของ Yamamoto and Shirakawa (1999) ได้สกัดสตาร์ชข้าวพันธุ์จ้าวอนิกา และอินดิกา และอบผานเนื้อ 55 องศาเซลเซียส 24 ชม ความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า การอบผานเนื้อีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติความเป็นผลึกของสตาร์ช ทำให้สตาร์ชทั้งสองชนิดมีความเป็นผลึกเพิ่มมากขึ้นจากสตาร์ชปกติ ถึงแม้ว่าผลทดลองเป็นการอบผานเนื้อแป้นหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อคล้ายคลึงกับการอบผานเนื้อสตาร์ช

การอบผานเนื้อีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชระหว่างการอบผานเนื้อโมเลกุลของสตาร์ช ซึ่งเปลี่ยนสภาพจากสถานะเป็นอสัณฐานเกิดการเคลื่อนที่มาจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น ความเป็นผลึกของสตาร์ชจึงเพิ่มขึ้น (Jacob *et al.*, 1998) จากผลการทดลองแป้นหมักปกติ มีความเป็นผลึกน้อยกว่าแป้นหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความเป็นผลึกของสตาร์ชในแป้นหมักอบผานเนื้อ มีความเป็นไปได้ว่า เมื่อดูดาวแป้นหมักอบผานเนื้ออาจมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์เพิ่มสูงกว่าแป้นหมักปกติ จึงตรวจสอบอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ และค่าพลังงานการสลายพันธะต่อไป

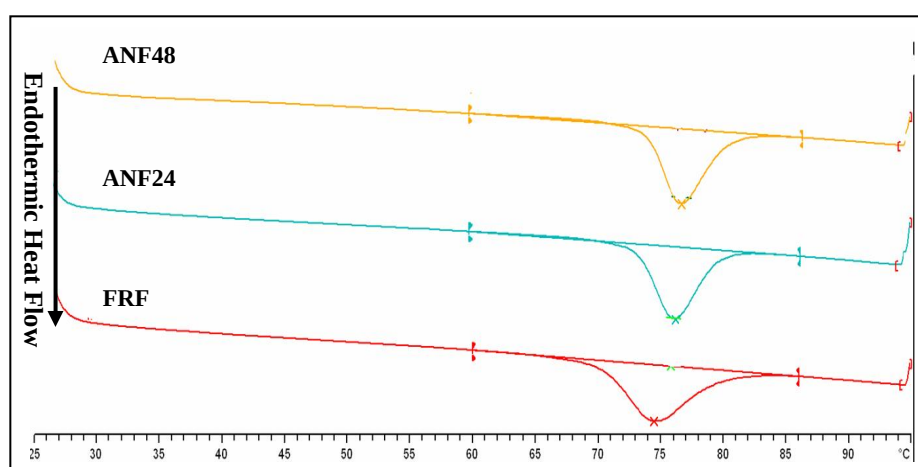
### 1.3.5 ผลการเกิดเจลลิตีไนซ์

เมื่อตรวจสอบการเกิดเจลลิตีไนซ์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ รายงานเป็นอุณหภูมิระหว่างการเกิดเจลลิตีไนซ์ของสตาร์ช ค่าพลังงานสลายพันธะของเม็ดสตาร์ชระหว่างเกิดเจลลิตีไนซ์ของแป้นหมักปกติ และแป้นหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ได้ผลดังนี้ (แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 25)

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะ  
ต่างกัน 3 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ (°ซ) |                |                    |              | พลังงานสลาย<br>พันธะ (จูล/ก.) |
|------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------|-------------------------------|
|                        | อุณหภูมิ<br>เริ่มต้น            | อุณหภูมิสูงสุด | อุณหภูมิต่ำสุดท้าย | ช่วงอุณหภูมิ |                               |
| FRF                    | 70.60±0.06c                     | 74.58±0.43c    | 78.82±0.05c        | 8.21±0.05a   | 10.30±0.02c                   |
| ANF24                  | 73.01±0.06b                     | 75.87±0.24b    | 79.20±0.08b        | 6.19±0.02b   | 11.04±0.01b                   |
| ANF48                  | 73.95±0.13a                     | 76.53±0.07a    | 80.02±0.04a        | 6.07±0.16b   | 12.68±0.05a                   |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> FRF=แป้งหมักปกติ ANF24= แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม  
และ ANF48=แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าเอนโดเทอร์มของแป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 (ANF48) ชม

อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลิตีไนซ์ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเป็น 70.60 °ซ  
ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็น 73.01  
และ 73.95 °ซ ตามลำดับ เวลาการอบผานเนื้อมานานขึ้นทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลิตีไนซ์สูงขึ้น  
แสดงว่าในการทำให้เม็ดสตาร์ชเริ่มเกิดเจลลิตีไนซ์ เม็ดสตาร์ชของแป้งหมักอบผานเนื้อต้องใช้  
อุณหภูมิสูงกว่าเม็ดสตาร์ชแป้งหมักปกติ

อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลที่ไนซ์ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลที่ไนซ์  $74.58^{\circ}\text{C}$  ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิเป็น  $75.87$  และ  $76.53^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม มีอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลที่ไนซ์ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลที่ไนซ์ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลที่ไนซ์  $78.82^{\circ}\text{C}$  ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิเป็น  $79.20$  และ  $80.02^{\circ}\text{C}$  เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม มีอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลที่ไนซ์ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์ แป้งหมักปกติมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์  $8.21^{\circ}\text{C}$  สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิเป็น  $6.19$  และ  $6.07^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ค่าพลังงานสลายพันธะ แป้งหมักปกติมีค่าพลังงานสลายพันธะ  $10.30$  จูล/กรัม น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็น  $11.04$  และ  $12.68$  จูล/กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติ ใช้พลังงานสลายพันธะน้อยที่สุด รองลงมาเป็นแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และสุดท้ายเป็นแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม แสดงให้เห็นว่าการทำให้เม็ดสตาร์ชในแป้งหมักปกติเกิดเจลที่ไนซ์ใช้พลังงานต่ำกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

ถึงแม้ว่าการทดลองเป็นการอบผานเนื้อแป้งหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อทำให้มีแป้งหมักอบผานเนื้อสมบัติคล้ายคลึงกับผลการทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ของ สุภาวดี และปริศนา (2550) ซึ่งทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชแป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชม ความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า สตาร์ชปกติมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานการสลายพันธะต่ำกว่าสตาร์ชอบ

ผลसानเนื้อ และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Seow and Teo (1993) ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลาทีไนซ์ของสตาร์ชข้าวผ่านการอบผลसानเนื้อ 55 °ซ 4, 12 และ 24 ชม ความชื้นร้อยละ 40 ปรากฏว่า การอบผลसानเนื้อสตาร์ชข้าวนานขึ้นทำให้อุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลาทีไนซ์เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานสลายพันธะของสตาร์ช นอกจากนี้ยังคล้ายคลึงกับการอบผลसानเนื้อธัญชาติชนิดอื่นในงานวิจัยของ Krueger *et al.* (1987) อบผลसानเนื้อสตาร์ชข้าวโพด อุณหภูมิ 50 °ซ เวลา 2, 4, 6, 8 และ 16 ชม การอบผลसानเนื้อนานขึ้นทำให้สตาร์ชข้าวโพดมีอุณหภูมิเริ่มต้น (68.0 จาก 60.5 °ซ) อุณหภูมิสูงสุด (71.5 จาก 68.0 °ซ) และค่าพลังงานการสลายพันธะ (2.99 จาก 2.31 จูล/กรัม) เพิ่มขึ้นจากสตาร์ชปกติ และงานวิจัยของ Sekine *et al.* (2000) อบผลसानเนื้อสตาร์ชข้าวสาลี และข้าวโพด 50 °ซ 20 ชม ปรากฏว่า สตาร์ชข้าวสาลี และสตาร์ชข้าวโพดอบผลसानเนื้อมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะเพิ่มสูงขึ้นจากสตาร์ชปกติของแต่ละชนิด แสดงให้เห็นได้ว่าการอบผลसानเนื้อแป้งหมักปกติให้ผลการทดลองคล้ายคลึงกับการอบผลसानเนื้อสตาร์ชข้าว และสตาร์ชจากธัญชาติแหล่งอื่น การอบผลसानเนื้อส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสตาร์ชในแป้งหมักปกติ

แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานสลายพันธะต่ำกว่าแป้งหมักอบผลसानเนื้อ อาจเกิดจากการอบผลसानเนื้อช่วยเพิ่มความเป็นผลึกของสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชของแป้งหมักอบผลसानเนื้อมีค่าดังกล่าวมากกว่าแป้งหมักปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักอบผลसानเนื้อ เมื่อเวลาการอบผลसानเนื้อนานขึ้นทำให้สตาร์ชมีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และพลังงานสลายพันธะเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลการหาค่าพลังงานการพองตัว และการละลายของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผลसानเนื้อ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะต่ำกว่าแป้งหมักอบผลसानเนื้อ ทำให้แป้งหมักปกติมีการพองตัว และการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผลसानเนื้อ และสอดคล้องกับผลการหาค่าระดับความเป็นผลึก เมื่อระยะเวลาการอบผลसानเนื้อนานขึ้น ความเป็นผลึกของสตาร์ชเพิ่มมากขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิ และพลังงานในการสลายพันธะเม็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผลसानเนื้อ 24 ชม ต่ำกว่าแป้งหมักอบผลसानเนื้อ 48 ชม

### 1.3.6 ผลสมบัติการเกิดรีโทรเกรด

การตรวจสอบความคงทนต่อการเกิดรีโทรเกรดทำได้โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการหาสมบัติการเกิดเจลาทีไนซ์ แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบ

อากาศเย็นจัด นำมาคั้นรูปจากเยือกแข็ง และตรวจสอบค่าจากการสลายพันธะรีโทรเกรดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 (ตารางที่ 13) ปรากฏว่า

**ตารางที่ 13** เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> |       | อุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด °ซ |                |                 |              | พลังงานการสลายพันธะ(จูล/ก) |
|------------------------|-------|-----------------------------------------|----------------|-----------------|--------------|----------------------------|
|                        |       | อุณหภูมิเริ่มต้น                        | อุณหภูมิสูงสุด | อุณหภูมิสุดท้าย | ช่วงอุณหภูมิ |                            |
| รอบที่ 1               | FRF   | 44.58±0.01ns                            | 53.44±0.38a    | 63.14±1.07b     | 18.56±0.23b  | 1.58±0.41a                 |
|                        | ANF24 | 44.25±0.09ns                            | 52.20±0.1a     | 65.06±1.95a     | 20.80±0.22a  | 1.04±0.31b                 |
|                        | ANF48 | 44.28±0.01ns                            | 48.21±0.1b     | 65.58±1.42a     | 21.29±0.79a  | 0.53±0.87c                 |
| รอบที่ 3               | FRF   | 46.19±0.02ns                            | 56.52±0.27a    | 64.20±0.28ns    | 18.02±0.38ns | 3.52±0.63a                 |
|                        | ANF24 | 45.38±0.12ns                            | 55.58±0.94a    | 63.91±0.84ns    | 18.53±0.58ns | 2.95±0.33b                 |
|                        | ANF48 | 45.56±0.02ns                            | 53.97±0.48b    | 64.18±0.71ns    | 18.62±0.68ns | 2.10±0.46c                 |
| รอบที่ 5               | FRF   | 48.58±0.02a                             | 58.54±0.16a    | 63.82±0.60b     | 15.24±0.56b  | 4.18±0.60a                 |
|                        | ANF24 | 47.91±0.07a                             | 58.34±0.70a    | 64.78±0.89a     | 16.86±0.67a  | 3.44±0.65b                 |
|                        | ANF48 | 46.48±0.04b                             | 56.88±0.29b    | 64.32±0.31a     | 17.56±0.42a  | 2.94±0.70c                 |

**หมายเหตุ** <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns/</sup> ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 12

รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1

เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อยู่ในช่วง 44.25-44.58 °ซ อุณหภูมิสูงสุด เจลแป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุด 53.44 °ซ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 ชม (52.20 °ซ) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ 48 ชม (48.21 °ซ) อุณหภูมิสุดท้าย เจลแป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 63.14 °ซ ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 (65.06 °ซ) และ 48 (65.58 °ซ) แต่เจลแป้งหมักอบผสานเนื้อทั้งสองมีอุณหภูมิสุดท้ายไม่แตกต่างกัน

ทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป้งหมักปกติมีช่วงอุณหภูมิเป็น  $18.56^{\circ}\text{C}$  ต่ำกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ( $20.80^{\circ}\text{C}$ ) และ 48 ( $21.29^{\circ}\text{C}$ ) แต่เจลแป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป้งหมักปกติมีค่าพลังงานเป็น 1.58 จูล/กรัม สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (1.04 จูล/กรัม) และ 48 ซม (0.53 จูล/กรัม) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ซม มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งหมด

### รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ซม มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อยู่ในช่วง  $45.38-46.19^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิสูงสุด เจลแป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุดเป็น  $56.52^{\circ}\text{C}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ( $55.58^{\circ}\text{C}$ ) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ซม ( $53.97^{\circ}\text{C}$ ) อุณหภูมิสุดท้าย และช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ซม มีอุณหภูมิสุดท้าย และช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อยู่ในช่วง  $63.91-64.20$  และ  $18.02-18.62^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป้งหมักปกติมีค่าพลังงานเป็น 3.52 จูล/กรัม สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (2.95 จูล/กรัม) และ 48 ซม (2.10 จูล/กรัม) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ซม มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดต่ำที่สุด

### รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

เจลแป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดเป็น  $48.58^{\circ}\text{C}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ซม ( $47.91^{\circ}\text{C}$ ) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ซม ( $46.48^{\circ}\text{C}$ ) อุณหภูมิสูงสุด เจลแป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุดเป็น  $58.54^{\circ}\text{C}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ซม ( $58.34^{\circ}\text{C}$ ) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ซม ( $56.88^{\circ}\text{C}$ ) อุณหภูมิสุดท้าย เจลแป้งหมักปกติมี

อุณหภูมิสุดท้ายเป็น 63.82 °ซต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (64.78 °ซ) และ 48 ชม (64.32 °ซ) แต่เจลแป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป้งหมักปกติมีช่วงอุณหภูมิเป็น 15.24 °ซต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (16.86 °ซ) และ 48 (17.56 °ซ) ชม แต่ เจลแป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ค่าพลังงานการสลายพันธะเจลแป้งปกติมีค่าพลังงานการสลายพันธะเป็น 4.18 จูล/กรัม สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับ เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (3.44 จูล/กรัม) และ 48 (2.94 จูล/กรัม) ชม เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดต่ำที่สุด

จากการทดลองเป็นการอบผานเนื้อแป้งหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อทำให้เจลแป้งหมักอบผานเนื้อมีค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดลดลงจากเจลแป้งปกติ คล้ายคลึงกับผลการอบผานเนื้อสตาร์ช ในผลการทดลองของ Adebawale *et al.* (2005) ซึ่งตรวจสอบการเกิดรีโทรเกรดของสตาร์ชข้าวฟ่างเกอร์มิลเลตผ่านการอบผานเนื้ออุณหภูมิ 50 ความชื้นร้อยละ 40 เก็บรักษาหลังเกิดเจลที่ไนซ์ 40 องศาเซลเซียส 24 ชม ปรากฏว่า เจลสตาร์ชข้าวฟ่างเกอร์มิลเลตปกติ (1.62 จูล/กรัม) มีค่าพลังงานการเกิดรีโทรเกรดสูงกว่าเจลสตาร์ชอบผานเนื้อ (1.33 จูล/กรัม)

จากการตรวจสอบบัติการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้งปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เจลแป้งปกติมีอุณหภูมิสูงสุด สูงกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ และในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเจลแป้งปกติมีค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดสูงที่สุด รองลงมาเป็น เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความเป็นผลึกมากที่สุด มีอุณหภูมิสูงสุด และค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลที่ไนซ์สูงสุด หลังเกิดเจลที่ไนซ์ เม็ดสตาร์ช (starch remnant) อาจแตกตัวไม่หมด ช่วยขัดขวางการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้ง ส่งผลให้หลังการคืนรูปจากเยือกแข็งหลายๆครั้ง เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม เกิดรีโทรเกรดได้น้อยที่สุด

### 1.3.7 ผลการตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

จากการอบผานเนื้อแป้งหมักปกติ ให้ความร้อนสารผสมระหว่างแป้งหมักปกติกับน้ำร้อยละ 8 จนเกิดเจลที่โน้สสมบูรณ์ วัดค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำ ค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น ก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18 °ซ รอบที่ 1, 3 และ 5

#### ก. ผลการสูญเสียของเจลแป้ง

จากการอบผานเนื้อแป้งหมักปกติ จนเกิดเจลที่โน้สสมบูรณ์ วัดค่าร้อยละการสูญเสียของเจลแป้งความเข้มข้นร้อยละ 8 ก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18 °ซ รอบที่ 1, 3 และ 5 แสดงดังตารางที่ 14 ได้ว่า

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบการสูญเสียก่อน และหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | จำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง (ครั้ง) |            |             |             |
|------------------------|---------------------------------------|------------|-------------|-------------|
|                        | ปกติ <sup>ns</sup>                    | 1          | 3           | 5           |
| FRF                    | 0.14±0.03                             | 5.84±0.77a | 53.10±2.93a | 66.40±2.04a |
| ANF24                  | 0.13±0.07                             | 4.10±0.80b | 44.59±1.79b | 59.70±2.25b |
| ANF48                  | 0.13±0.05                             | 2.48±0.97c | 41.42±2.44c | 51.43±2.16c |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 12  
<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียเป็นร้อยละ 0.14 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 0.13) และ 48 ชม (ร้อยละ 0.13) ก่อนการแช่เยือกแข็งเจลแป้งหมักยังคงอุ้มน้ำได้ดีทำให้มีปริมาณน้ำซึมออกมานอกเจลได้น้อย และไม่แตกต่างกัน

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสีย น้ำหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็นร้อยละ 5.84 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 4.10) และ 48 ชม (ร้อยละ 2.48) โดยเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็นร้อยละ 53.10 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 44.59) และ 48 (ร้อยละ 41.42) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม คืนรูปจากเยือกแข็งมีร้อยละการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็นร้อยละ 66.40 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 59.70) และ 48 ชม (ร้อยละ 51.43) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

จากการตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งด้วยการวัดค่าการสูญเสียน้ำของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ก่อนการแช่เยือกแข็งเจลแป้งทั้ง 3 ชนิดมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างกัน เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 1, 3 และ 5 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำคิดเป็นร้อยละมากที่สุด รองลงมาเป็นเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และน้อยที่สุดเป็นเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม อาจเกิดจากแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชมาก มีอุณหภูมิ และค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลาทีไนซ์สูง หลังจากเกิดเจลาทีไนซ์ เม็ดสตาร์ชแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม อาจมีบางส่วนแตกออกไม่หมด (starch remnant) ขัดขวางการเกิดรีโทรเกรด ช่วยลดการสูญเสียน้ำระหว่างการคืนรูปจากเยือกแข็ง เมื่อปริมาณน้ำอิสระลดลง จำนวนรอบคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำของเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม จึงลดลงจากเจลแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการทดลองหาค่าการเกิดรีโทรเกรด ปรากฏว่า เมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งมากขึ้น เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผานเนื้อมีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดเพิ่มขึ้น โดยเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุดในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง เป็นสาเหตุให้เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีร้อยละการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

ข. ผลการตรวจสอบเนื้อสัมผัสเจลเป็งหมักปกติ และเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ

1) ผลความแน่นเนื้อ

จากการอบผานเนื้อเป็งหมักปกติ ให้ความร้อนจนเกิดเจลที่ในชั้น  
สมบูรณ์ วัดค่าความแน่นเนื้อของเจลเป็งความเข้มข้นร้อยละ 8 ก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูป  
จากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด  $-18^{\circ}\text{C}$  รอบที่ 1, 3 และ 5 แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) และค่าความยืดหยุ่นก่อน และหลังการคืนรูปจากเขือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของเจลแป็งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1  
ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | จำนวนรอบการคืนรูปจากเขือกแข็ง (ครั้ง) |               |               |              |                 |             |             |             |
|------------------------|---------------------------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
|                        | ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม)               |               |               |              | ค่าความยืดหยุ่น |             |             |             |
|                        | ปกติ                                  | 1             | 3             | 5            | ปกติ            | 1           | 3           | 5           |
| FRF                    | 37.49±1.59a                           | 351.12±14.69a | 387.32±7.92a  | 391.65±5.14a | 34.71±3.03a     | 76.16±2.47a | 55.38±3.55a | 36.21±2.58c |
| ANF24                  | 34.58±1.77b                           | 321.72±18.44b | 358.76±12.7ab | 367.30±6.87b | 26.00±1.74b     | 63.96±3.39b | 57.30±2.48a | 52.83±2.89a |
| ANF48                  | 32.30±1.53c                           | 312.83±4.21c  | 272.10±13.0b  | 344.99±5.66c | 22.96±3.72c     | 54.32±3.20c | 50.13±2.07b | 47.62±1.67b |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 12

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ค่าความแน่นเนื้อเจลเป็งหมักปกติเป็น 37.49 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 24 (34.58 กรัม) และ 48 ชม (32.30 กรัม) เจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 48 ชม มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลเป็งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 351.12 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 24 (321.72 กรัม) และ 48 ชม (312.83 กรัม) เจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 24 ชม มีความแน่นเนื้อมากกว่าเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 48 ชม

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลเป็งปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 387.32 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 24 (358.76 กรัม) แต่เจลเป็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 48 ชม (272.10 กรัม) เจลเป็งหมักอบผสานเนื้อทั้งสองมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลเป็งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 391.65 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 24 (367.30 กรัม) และ 48 ชม (344.99 กรัม)

เมื่อเป็งหมักปกติผ่านการเกิดเจลที่ในข้ออย่างสมบูรณ์ อุณหภูมิลดลง เจลเป็งเกิดปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน และเมื่อนำเจลไปแช่เยือกแข็งน้ำอิสระเคลื่อนที่มาจับกันเป็นผลึกแยกออกจากเจล โมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพกทินมีโอกาสเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้น การเกิดรีโทรเกรดจึงเกิดมากขึ้น (อรอนงค์, 2547) เมื่อนำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง น้ำอิสระดังกล่าวละลายออกจากโมเลกุลสตาร์ชในเจลเป็ง เจลเป็งมีรูพรุน และมีความแข็งแรงกระด้าง ทำให้ค่าความแน่นเนื้อของเจลเป็งหมักปกติมีค่าสูงขึ้นมากในรอบการคืนรูปที่ 1 นอกจากนี้ในขณะที่คืนรูปเจลเป็ง ยังมีการเกิดรีโทรเกรดเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำกลับมาแช่เยือกแข็งอีกครั้ง ปริมาณน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น การเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ค่าความแน่นเนื้อจึงค่อยๆ สูงขึ้นในรอบการคืนรูปที่ 3 และ 5 ขณะที่เจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าเป็งปกติ อาจเกิดจากเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อดังกล่าวเกิดรีโทรเกรด และเกิดการ

สูญเสียน้ำหนักจากโมเลกุลสตาร์ชในเจลแป้งหมักอบผานเนื้อได้น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ จึงทำให้ความแน่นเนื้อของเจลแป้งหมักอบผานเนื้อน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ

## 2) ผลความยืดหยุ่น

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น เป็น 34.71 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (26.00) และ 48 ชม (22.96) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด (ตารางที่ 15)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น เพิ่มขึ้นจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 76.16 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (63.96) และ 48 ชม (54.32) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น ลดลงจากรอบที่ 1 เป็น 55.38 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (57.30) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (50.13) ซึ่งมีค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น ลดลงจากรอบที่ 3 เป็น 36.21 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (52.83) และ 48 ชม (47.62) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 มีค่าความยืดหยุ่นมากที่สุด รองลงมา เป็น 48 ชม

ความยืดหยุ่นเจลแป้งหมักปกติก่อนการแช่เยือกแข็ง (34.71) มีค่าน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 (76.16) เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 3 และ 5 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงมากเป็น 55.38 และ 36.21 ตามลำดับ อาจเกิดจากการเกิดรีโทรเกรด ซึ่งนอกจากทำให้เจลแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อมากขึ้นในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ยังทำให้เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นมากด้วย และในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ

รอบที่ 1 อาจเกิดจากเจลเป็งหมักปกติมีความแข็ง และเปราะ แตกได้ง่าย เมื่อให้แรงกดกับเจลเป็งหมักปกติส่งผลให้เจลเป็งหมักปกติแตกบางส่วน ไม่เกิดแรงยึดตัวขึ้นด้านการกด ค่าความยืดหยุ่นที่วัดได้จึงลดลง ต่างกับเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลเป็งหมักปกติ ทำให้เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณการลดลงของความยืดหยุ่นในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ถึง 5 (จาก 54.32 เป็น 47.62) น้อยกว่าเจลเป็งหมักปกติ (จาก 76.16 เป็น 36.21)

เมื่อทดสอบเจลเป็งหมักปกติ และเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ ค่าความแน่นเนื้อ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลเป็งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ และมีค่าความยืดหยุ่นน้อยกว่าเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ อาจเกิดจากการที่เมล็ดสตาร์ชของเป็งหมักอบผานเนื้อมีความเป็นผลึก และแข็งแรงมากกว่าสตาร์ชเป็งหมักปกติ เมื่อได้รับความร้อน และเกิดเจลาทิไนซ์สมบูรณ์ เม็ดสตาร์ชของเป็งหมักอบผานเนื้ออาจแตกตัวออกไม่หมด มีส่วนที่แข็งแรง ซึ่งช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด โดยขัดขวางการจับกันของเอมิโลสหรือเอมิโลเพกทิน เนื้อสัมผัสของเจลเป็งหมักอบผานเนื้อจึงมีค่าความแน่นเนื้อลดลงน้อยกว่าเจลเป็งหมักปกติ และมีความแข็งเปราะน้อยลง เมื่อใช้แรงกดเจลเป็งหมักอบผานเนื้อจึงมีแรงยึดตัวคืนหัววัดได้ทำให้ค่าความยืดหยุ่นมากกว่าเจลเป็งหมักปกติ

#### 1.4 การตรวจสอบโครงสร้างของเจลเป็ง

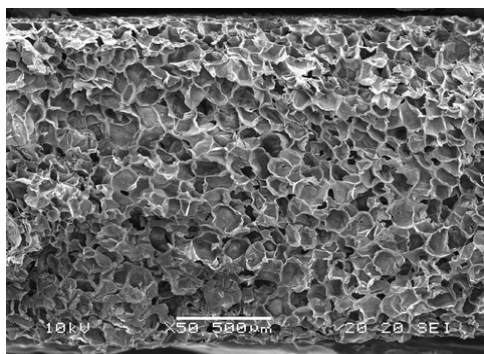
จากการอบผานเนื้อเป็งหมักปกติ ให้ความร้อนสารผสมระหว่างเป็งหมักปกติกับน้ำร้อยละ 8 จนเกิดเจลาทิไนซ์สมบูรณ์ หลังจากนั้นตรวจสอบโครงสร้างของเจลเป็งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18 °C รอบที่ 5

จากการตรวจสอบโครงสร้างของเจลเป็งหมักปกติ เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลเป็งหมักปกติมีโครงสร้างละเอียด ใกล้เคียงกันกับเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีโครงสร้างละเอียดที่สุด และเมื่อผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 เจลเป็งหมักปกติมีโครงสร้างหยาบขึ้น ขนาดรูพรุนใหญ่มากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลให้ความยืดหยุ่นของเจลเป็งลดลง ขณะที่เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มี

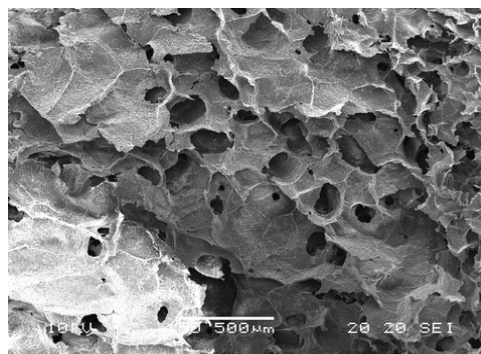
โครงสร้างเจลแป็งละเอียดมากกว่าเจลแป็งหมักปกติ มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าเจลแป็งหมักปกติ โดยเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีโครงสร้างละเอียดที่สุด

เจลแป็งหมักปกติมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เกิดจากเจลแป็งหมักปกติเกิดรีโทรเกรดมากกว่าเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม สอดคล้องกับผลการวัดค่าการเกิดรีโทรเกรด เมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มมากขึ้น ทำให้เจลแป็งหมักปกติมีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มมากขึ้น หลังจากแช่เยือกแข็งเจลแป็งอีกครั้ง น้ำอิสระจำนวนมากในเจลแป็งหมักปกติจึงเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เมื่อนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 50 เท่า จึงปรากฏภาพเจลแป็งหมักปกติมีรูพรุนขนาดใหญ่ในเนื้อเจล ขณะที่เจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแป็งหมักปกติ ปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าเจลแป็งหมักปกติ ทำให้มีขนาดผลึกน้ำแข็งเล็ก เจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม จึงมีรูพรุนขนาดเล็ก โดยเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 48 มีขนาดรูพรุนขนาดเล็กที่สุด และมีเนื้อเจลละเอียดที่สุด สอดคล้องกับผลการวัดค่าความยืดหยุ่น เจลแป็งหมักปกติมีรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อวัดค่าความยืดหยุ่นโดยการกดเจล ทำให้เจลแตกหักได้ง่าย ไม่ยืดออกดันหัววัด เจลแป็งหมักปกติจึงมีความยืดหยุ่นในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 น้อยกว่าเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ (ภาพที่ 26)

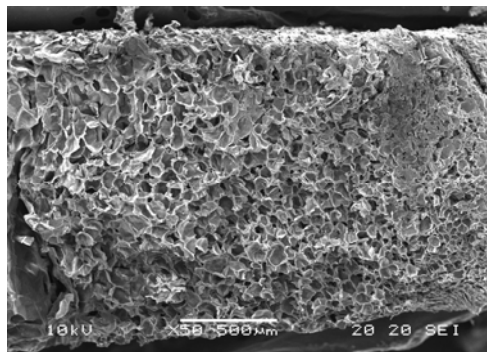
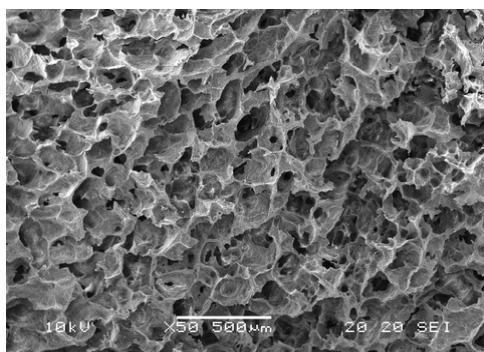
ก่อนแช่เยือกแข็ง



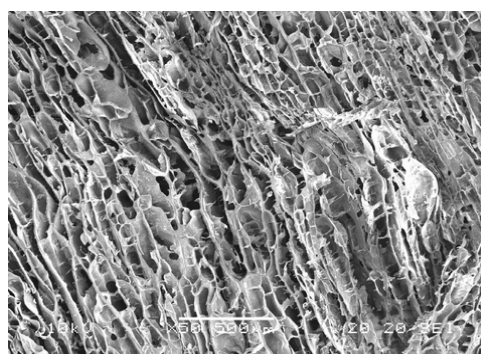
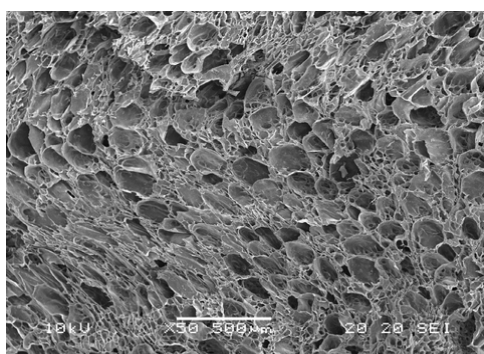
รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5



FRF



ANF24



ANF48

ภาพที่ 26 โครงสร้างของเจลแป็งหมักปกติ (FRF) และเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดรอบที่ 5 กำลังขยาย 50 เท่า

จากการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม สามารถพิจารณาเพื่อคัดเลือกแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ได้ดังนี้

แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ได้ผลว่ามีขนาด และรูปร่างไม่แตกต่างกับสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ โดยแป้งหมักปกติ แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ช แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความสว่าง (L) น้อยลง ค่าความเป็นสีเขียว ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) เป็นเพิ่มขึ้นกว่าแป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เมื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมี แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ แต่น้อยกว่าแป้งปกติ ส่วนปริมาณแอมิโลส แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม น้อยกว่าแป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เมื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มหืนที่สุด ความหืนสูงสุด ความหืนต่ำสุด ความหืนลดลง ความหืนสุดท้าย และเซตแบคน้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ มีกำลังการพองตัว และการละลาย ณ อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 °C น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เป็นเหตุให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีร้อยละความเป็นผลึกมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เป็นสาเหตุให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และมีค่าพลังงานสลายพันธะสูงกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดต่ำกว่า เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และเจลแป้งหมักปกติ แสดงว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม เกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และเจลแป้งหมักปกติ ทำให้มีร้อยละการสูญเสียร่นน้อยกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และเจลแป้งหมักปกติ ในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง มีเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อน้อยลง มีความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักปกติ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความเหมาะสมต่อการทดแทนแป้งหมักปกติในการการผลิตขนมจีนมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม เพื่อช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และเพิ่มความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง จึงเลือกแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ใช้ในการทดลองต่อไป

## 2. ตรวจสอบผลของการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

จากข้อที่ 1 แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีสมบัติเหมาะสมต่อการทดแทนแป้งหมักปกติเพื่อผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง จึงตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด เมื่อทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และทดลองผลิตขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ

2.1 ผลตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แสดงดังตารางที่ 16 ปรากฏว่า

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 , 30, 40 และ 50 <sup>1/</sup>

102

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | อุณหภูมิเริ่มต้น<br>°ซ | สมบัติด้านความหนืด (เซนติปัวส์) |                |                            |                 |                       |
|------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
|                        |                        | ความหนืดสูงสุด                  | ความหนืดต่ำสุด | ความหนืดลดลง <sup>3/</sup> | ความหนืดสุดท้าย | เซตแบบค <sup>4/</sup> |
| FRF                    | 88.40±0.53c            | 2,082.67±5.03a                  | 1,037.33±2.52a | 1,045.33±7.51a             | 2,249.00±4.00a  | 1,203.67±11.50a       |
| ANF10                  | 88.50±0.10c            | 1,988.33±7.02b                  | 1,019.67±2.08b | 968.67±5.86b               | 2,230.33±18.01a | 1,261.67±6.66b        |
| ANF20                  | 88.73±0.18b            | 1,964.67±20.11b                 | 1,013.00±3.61c | 951.67±7.37c               | 2,143.00±8.19c  | 1,191.33±7.09c        |
| ANF30                  | 89.80±0.10ab           | 1,911.67±3.51c                  | 980.00±6.00d   | 931.67±9.50d               | 2,088.67±9.61d  | 1,157.00±1.73d        |
| ANF40                  | 90.70±1.04a            | 1,872.67±6.66d                  | 967.67±2.08e   | 905.00±5.00e               | 2,007.67±6.66e  | 1,102.67±8.02e        |
| ANF50                  | 90.90±0.85a            | 1,816.33±4.73e                  | 930.00±30.00e  | 886.33±6.11f               | 1,926.00±5.57f  | 1,039.67±6.03f        |

- หมายเหตุ
- <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
- <sup>2/</sup> FRF คือ แป้งหมักปกติ ANF คือ แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10-50
- <sup>3/</sup> ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด
- <sup>4/</sup> ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้าย และความหนืดต่ำสุด

อุณหภูมิเริ่มต้น แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้น 88.40 °ซ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 (88.50°ซ) แต่ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 88.73, 89.80, 90.70 และ 90.90°ซ

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดมากที่สุด คือ 2,082 เซนติปัวส์ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 (1,988 เซนติปัวส์) และ 20 (1,964) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ทั้งสองมีความหนืดสูงสุดมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 30 (1,911 เซนติปัวส์) , 40 (1,872 เซนติปัวส์) และ 50 (1,816 เซนติปัวส์) โดยที่ระดับการทดแทนร้อยละ 30 ถึง 50 ค่าความหนืดสูงสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ตามปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อที่เพิ่มขึ้น

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดต่ำสุดมากที่สุด (1,037 เซนติปัวส์) แตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อในทุกๆระดับที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 ถึง 30 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ตามปริมาณแป้งอบผานเนื้อที่เพิ่มขึ้น และมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 (967 เซนติปัวส์) และ 50 (930 เซนติปัวส์) มีค่าความหนืดต่ำสุดน้อยที่สุด

ค่าความหนืดลดลง อธิบายถึงความคงทนต่อแรงกวน ค่าความหนืดลดลงของแป้งหมักปกติคือ 1,045 เซนติปัวส์ มากที่สุดแตกต่างกับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อในทุกๆระดับ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดลดลงของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 50 มีค่าความหนืดลดลงเป็น 886 เซนติปัวส์ แสดงว่าการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อทำให้มีความทนต่อแรงกวนมากขึ้น

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,249 เซนติปัวส์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 (2,230 เซนติปัวส์) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับที่ระดับการทดแทนร้อยละ 20 (2,143 เซนติปัวส์), 30 (2,088 เซนติปัวส์), 40 (2,007 เซนติปัวส์) และ 50 (1,926 เซนติปัวส์) โดยร้อยละปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เซตแบค แป้งหมักปกติมีค่าเซตแบคเป็น 1,203 เซนติปัวส์ แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อทุกระดับ เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าเซตแบคลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในทุกระดับ การทดแทนแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 50 (1,039 เซนติปัวส์) ให้ค่าเซตแบคน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อมากขึ้น แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อเกิดรีโทรเกรดได้น้อยลง

จากการทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อปรากฏว่า ค่าอุณหภูมิเริ่มหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อลดลงแตกต่างกันกับแป้งหมักปกติตั้งแต่ที่ระดับร้อยละ 20 จนถึงร้อยละ 50 ทั้งนี้เกิดจากแป้งหมักอบผานเนื้อมีส่วนรบกวนต่อการเกิดเจลลาทิโนส การพองตัว และการละลายต่ำ เมื่อนำมาทดแทนแป้งหมักปกติทำให้มีปริมาณสตาร์ชที่สามารถทนต่อการเกิดเจลลาทิโนสเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเริ่มหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง และความหนืดสุดท้ายของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อจึงลดลงกว่าแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติด้านความหนืด แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม เปรียบเทียบกับแป้งหมักปกติ ปรากฏว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีสมบัติด้านความหนืดน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

## 2.2 ผลการตรวจสอบปริมาณจับของขมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ

จากการทดลองผลิตขมจีนแป้งหมักปกติโดยใช้แป้งหมักปกติ 170 กรัม แป้งหมักพรีเจลลาไทน์ 30 กรัม และน้ำ 240 กรัม นวดผสม และโรยเส้นในน้ำเดือดสามารถจับเส้นขมจีนเป็นก้อนได้ 19-21 จับ เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ปริมาณจับขมจีนที่ได้เป็น 17-20 จับ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อมากขึ้นเป็นร้อยละ 30 และ 40 ปริมาณจับขมจีนที่ได้ลดลงเป็น 14-16 จับ และเมื่อทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 ได้ขมจีน 9-11 จับ แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบปริมาณจับของขมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร

| ขมจีน <sup>1/</sup> (สูตรที่) | จำนวนจับ |
|-------------------------------|----------|
| 1                             | 19-21    |
| 2                             | 18-20    |
| 3                             | 17-19    |
| 4                             | 15-16    |
| 5                             | 14-15    |
| 6                             | 9-10     |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> สูตรที่ 1 คือ ขมจีนแป้งหมักปกติ สูตรที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 คือ ขมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ

## 2.3 ผลการหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผสานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ผลการผลิตขมจีนแป้งหมักปกติ และขมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ 48 ซม ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด นำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง (รอบที่ 1) และนำกลับแช่เยือกแข็งอีกครั้งในตู้แช่เยือกแข็ง -18 °ซ รอบที่ 3 และ 5 ผลการทดสอบความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มข้นและความชอบรวมโดยใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ปรากฏว่า

### 2.3.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยนำเส้นขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ ตรวจวัดค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส

#### ก. ผลความแน่นเนื้อ

ผลการวัดค่าความแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยนำเส้นขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด<sup>1/</sup>

| ขนมจีน<br>สูตรที่ <sup>2/</sup> | ก่อนการแช่<br>เยือกแข็ง | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 |                           | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 |                           | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 |                           |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                                 |                         | ไครโอเจนิก                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | ไครโอเจนิก                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | ไครโอเจนิก                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด |
| 1                               | 13.72±1.65d             | 24.22±0.69a                   | 26.49±0.82a               | 27.92±1.13a                   | 35.65±0.90a               | 37.81±1.07a                   | 45.39±0.75a               |
| 2                               | 13.87±0.77d             | 23.84±0.50a                   | 26.84±0.73a               | 27.04±0.76ab                  | 34.78±1.19a               | 37.30±1.28a                   | 46.80±1.58a               |
| 3                               | 16.57±1.52c             | 23.57±0.57ab                  | 25.17±1.07b               | 25.80±0.53bc                  | 33.07±1.04a               | 34.64±1.16b                   | 43.22±1.94b               |
| 4                               | 18.16±1.05b             | 23.33±0.98ab                  | 25.54±0.82b               | 26.39±0.87c                   | 33.21±1.83b               | 31.85±1.95c                   | 39.51±2.29b               |
| 5                               | 22.35±0.89a             | 22.73±1.10b                   | 24.05±0.68c               | 24.49±0.84d                   | 27.50±0.66c               | 26.74±0.69d                   | 31.87±1.35c               |
| 6                               | 22.61±1.51a             | 22.78±0.77b                   | 24.18±0.47c               | 24.32±0.63d                   | 27.59±1.33c               | 26.54±0.51d                   | 32.06±1.22c               |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 17

### 1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง

ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 13.72 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 (13.87 กรัม) เมื่อเพิ่มระดับแป้งหมักอบผสานเนื้อเป็นร้อยละ 20 และ 30 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 16.57 และ 18.16 กรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) จากการทดแทนที่ร้อยละ 20 และ 30 เป็น 22.35 และ 22.61 กรัม ตามลำดับ โดยทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความแน่นเนื้อมากกว่าขนมจีนตัวอย่างอื่น ทั้งนี้เกิดจากแป้งหมักอบผสานเนื้อมีสตาร์ชที่มีความเป็นผลึกสูง คงทนต่อการเกิดเจลลาทีไนซ์ กำลังการพองตัว และการละลายต่ำ สตาร์ชในแป้งหมักอบผสานเนื้อบางส่วนในเส้นขนมจีนอาจเกิดเจลลาทีไนซ์ไม่สมบูรณ์ เมื่อทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อในปริมาณมาก ขนมจีนจึงมีความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น

### 2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากการแช่เยือกแข็งเป็น 24.22 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20, 30 ขนมจีนทั้งสี่ชนิดมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 23.33-24.22 กรัม ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) เป็น 22.73 และ 22.78 ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากการแช่เยือกแข็งเป็น 26.49 กรัม และมากกว่าขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีค่าความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50

ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 24.05 และ 24.18 กรัม ตามลำดับ

### 3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 27.92 กรัม เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 24.49 และ 24.32 กรัม ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 35.65 กรัม มากกว่าขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เช่นเดียวกันกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 27.50 และ 27.59 กรัม ตามลำดับ

### 4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 37.81 กรัม เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 26.74 และ 26.54 กรัม ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 45.39 กรัม มากกว่าขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค เช่นเดียวกันกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อที่มีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็ง ที่ระดับการทดแทนด้วยแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมน้ำแข็งมีความแน่นเนื้อลดลง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งเป็น 31.87 และ 32.06 กรัม ตามลำดับ

จากผลการทดลองวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็ง และขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ก่อนการแช่เยือกแข็งขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อ เนื่องจากแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อมีการพองตัวน้อย การละลายต่ำ เมื่อนำมาทำขนมน้ำแข็ง ทำให้ขนมน้ำแข็งมีความแน่นเนื้อสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อมากขึ้น ความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น รอบการคืนรูปจากแช่เยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็ง และขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อเกิดรีโทรเกรเดชัน ทำให้ความแน่นเนื้อของขนมน้ำแข็งเพิ่มขึ้นจากขนมน้ำแข็งก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งมีความแน่นเนื้อมากกว่าขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ทั้งนี้อาจเกิดจากแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อที่มีสมบัติการพองตัว และการละลายน้ำได้น้อย เมื่อแช่เยือกแข็งบางส่วนอาจแตกตัวออกไม่หมดทำให้ช่วยขัดขวางการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ ส่งผลให้ความแน่นเนื้อของขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 น้อยกว่าขนมน้ำแข็งตัวอย่างอื่น สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อผ่านการคืนรูปจากแช่เยือกแข็ง ได้ผลว่าเมื่อรอบการคืนรูปจากแช่เยือกแข็งมากขึ้น แช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อที่มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดในทุกการคืนรูปจากแช่เยือกแข็ง เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถแช่เยือกแข็งขนมน้ำแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด จึงสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่าสามารถช่วยรักษาโครงสร้างเนื้อสัมผัสของขนมน้ำแข็งให้ใกล้เคียงกับขนมน้ำแข็งก่อนแช่เยือกแข็ง ทำให้ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

### ข. ผลความยืดหยุ่น

ผลการวัดค่าความยืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบ  
สัณผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยนำเส้นขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1,  
3 และ 5 มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอี๊ยะกึ่งแบบโครโอเจนิค และแบบสั้มผัสแผ่นโลหะเย็นจัด<sup>1/</sup>

112

| ขมจีน<br>สูตรที่ <sup>2/</sup> | ก่อนการแช่<br>เอี๊ยะกึ่ง | รอบการคืนรูปจากเอี๊ยะกึ่งที่ 1 |                            | รอบการคืนรูปจากเอี๊ยะกึ่งที่ 3 |                            | รอบการคืนรูปจากเอี๊ยะกึ่งที่ 5 |                            |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                                |                          | โครโอเจนิค                     | สั้มผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | โครโอเจนิค                     | สั้มผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | โครโอเจนิค                     | สั้มผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด |
| 1                              | 7.71±1.03a               | 4.97±0.78b                     | 4.62±0.60b                 | 3.09±0.68c                     | 2.63±0.36c                 | 1.39±0.52c                     | 0.58±0.23c                 |
| 2                              | 8.07±0.30a               | 5.53±0.95ab                    | 5.68±0.47ab                | 3.62±0.56b                     | 2.90±0.49c                 | 1.68±0.44c                     | 1.91±0.53b                 |
| 3                              | 7.46±1.04a               | 5.46±0.66ab                    | 5.38±0.90b                 | 4.83±0.52b                     | 3.45±0.36b                 | 2.52±0.85b                     | 1.69±0.67b                 |
| 4                              | 7.01±0.93ab              | 5.35±0.84ab                    | 6.05±0.62ab                | 5.39±0.79ab                    | 3.72±0.31b                 | 2.67±0.72b                     | 1.22±0.29b                 |
| 5                              | 7.00±0.54ab              | 6.00±0.65a                     | 6.31±0.57a                 | 5.89±0.54a                     | 4.01±0.34ab                | 4.14±0.62a                     | 3.23±0.67a                 |
| 6                              | 6.25±0.98b               | 6.08±0.70a                     | 5.97±0.62a                 | 5.76±0.57a                     | 4.30±0.73a                 | 4.64±0.68a                     | 3.40±0.65a                 |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขมจีนเหมือนกับตารางที่ 17

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 7.71 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10 (8.07), 20 (7.46), 30 (7.01) และ 40 (7.00) ตามลำดับ เมื่อเพิ่มแป้งอบผลานเนื้อเป็นร้อยละ 50 ขนมหินมีความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 6.25

ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ โดยเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นลดลง เกิดจากแป้งหมักอบผลานเนื้อที่มีสารซึ่งมีกำลังการพองตัว และการละลายต่ำ มีความเป็นผลึกสูง กงทนต่อการเกิดเจลที่ไนซ์ เมื่อผสมในขนมหินปริมาณมากอาจทำให้ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ

## 2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 4.97 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10, 20, และ 30 เมื่อเพิ่มแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นมากขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 6.00 และ 6.08 ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 4.62 เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมหินแป้งหมักปกติเช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค เมื่อเพิ่มแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมหินมีความยืดหยุ่นมากขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 6.31 และ 5.97 ตามลำดับ

### 3) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 3

การแช่เชือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 1 เป็น 3.09 เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ความยืดหยุ่นของขนมหินเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 5.39, 5.89 และ 5.76 ตามลำดับ แต่ทั้ง 3 ระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การแช่เชือกเงี่ยงแบบสั้มผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 1 เป็น 2.63 น้อยกว่าขนมหินแช่เชือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมหินแป้งหมักปกติ เช่นเดียวกับการแช่เชือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค เมื่อแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ความยืดหยุ่นของขนมหินเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 4.01 และ 4.30 ตามลำดับ แต่ทั้งสองระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 4) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 5

การแช่เชือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 3 เป็น 1.39 เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมหินแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมหินมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 4.14 และ 4.64 ตามลำดับ

การแช่เชือกเงี่ยงแบบสั้มผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 3 เป็น 0.58 น้อยกว่าขนมหินแช่เชือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมหินแป้งหมักปกติ

เช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ร้อยละ 40 และ 50 มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมนมจืดแป้งหมักปกติ เป็น 3.23 และ 3.40 ตามลำดับ

จากผลการทดลองวัดค่าความยืดหยุ่นขนมนมจืดแป้งหมักปกติ และ ขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ก่อนการแช่เยือกแข็งขนมนมจืดแป้งหมักปกติมี ความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 แต่มากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 50 ทั้งนี้เกิดจากการทดแทนแป้ง หมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีซึ่งมีสสารข่องตัว และละลายน้อยกว่าสสารแป้งหมักปกติ ความยืดหยุ่นของขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีจึงลดลงแตกต่างกับขนมนมจืด แป้งหมักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 3 ขนมนมจืดเกิดรีโทรเกรด ขนมนมจืดแป้งหมักปกติ และขนมนมจืดทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีทุกระดับมีความยืดหยุ่นลดลงจากก่อนการแช่เยือก แข็ง เมื่อเปรียบเทียบขนมนมจืดแป้งหมักปกติกับขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี การเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ทำให้ขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ความยืดหยุ่นมากกว่าขนมนมจืดแป้งหมักปกติ ในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมนมจืดทดแทน แป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 40 และ 50 มีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมนมจืดแป้งหมัก ปกติ และขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีตัวอย่างอื่นอย่างชัดเจน สอดคล้อง กับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสเจลแข็ง เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อมีมีค่าความยืดหยุ่นรอบการคืนรูปจาก เยือกแข็งที่ 5 มากกว่าเจลแป้งหมักปกติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมนมจืดแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัส แผ่นโลหะเย็นจัดในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค สามารถแช่เยือกแข็งขนมนมจืดได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด จึงสามารถเกิดรีโทรเกรดได้ น้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่าสามารถช่วยรักษา โครงสร้างเนื้อสัมผัสของขนมนมจืดให้ใกล้เคียงกับขนมนมจืดก่อนแช่เยือกแข็ง ทำให้ขนมนมจืดแช่เยือก แข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

### 2.3.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

#### ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบสมบัติความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบสาคูด้าน ความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่มของขนมจีน ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

#### 1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง

ขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบสาคูด้านมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส (แสดงดังตารางที่ 20) ดังนี้

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร ก่อนการแช่เยือกแข็ง<sup>1/</sup>

| ขนมจีนสูตรที่ <sup>2/</sup> | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส |               |              |             |
|-----------------------------|------------------------------|---------------|--------------|-------------|
|                             | ความเรียบ                    | ความแน่นเนื้อ | ความยืดหยุ่น | ความชุ่ม    |
| 1                           | 9.44±0.33b                   | 8.58±0.52d    | 12.63±0.21a  | 10.01±0.40a |
| 2                           | 9.46±0.27b                   | 8.76±0.53d    | 12.60±0.28a  | 10.34±0.30a |
| 3                           | 9.71±0.45ab                  | 8.73±0.42d    | 11.26±0.45b  | 10.24±0.45a |
| 4                           | 9.61±0.31ab                  | 9.44±0.34c    | 10.73±0.32c  | 10.09±0.72a |
| 5                           | 10.08±0.89a                  | 9.99±0.20b    | 10.60±0.38cd | 10.48±0.28a |
| 6                           | 9.88±0.15a                   | 10.63±0.36a   | 10.21±0.51d  | 10.49±0.32a |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 17

ความเรียบ ขนมีเงินเป้งหมักปกติ และขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 มีคะแนนความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 9.44 – 9.61 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมีเงินมีคะแนนความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างจากขนมีเงินเป้งหมักปกติเป็น 10.08 และ 9.88 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ ขนมีเงินเป้งหมักปกติ และขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 8.58-8.76 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อของขนมีเงินเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ขนมีเงินเป้งหมักปกติเป็น 9.44, 9.99 และ 10.63 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมีเงินเป้งหมักปกติได้รับคะแนนความยืดหยุ่นเป็น 12.63 เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลง เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นของขนมีเงินลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับขนมีเงินเป้งหมักปกติเป็น 10.60 และ 10.21 คะแนน ความชุ่ม ขนมีเงินเป้งหมักปกติ และขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้รับคะแนนความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 10.01-10.49 คะแนน

จากก่อนการแช่เยือกแข็ง เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมีเงินมีคะแนนด้านต่างๆเปลี่ยนแปลงดังนี้ ความเรียบ ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อซึ่งมีสตาร์ชที่มีสมบัติพองตัว และละลายน้อย มีความคงทนต่อการเกิดเจลลาทีไนซ์ เมื่อมีปริมาณสตาร์ชอบผสานเนื้อมากทำให้เส้นค่อนข้างเรียบ และมีความแน่นเนื้อมากขึ้น ส่งผลให้ความยืดหยุ่นลดลง ส่วนด้านความชุ่ม เนื่องจากขนมีเงินยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ขนมีเงินเกิดรีโทรเกรดน้อย ทำให้ผู้ทดสอบไม่เห็นความแตกต่างด้านความชุ่ม สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อมากขึ้น ขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และค่าความยืดหยุ่นลดลง

## 2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมีเงินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมีเงินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มเป็น 8.50 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบ

ผลานเนื้อหามีคะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.95 และ 9.82 คะแนน ตามลำดับ โดยระดับร้อยละ 40 และ 50 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ ขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อยู่ในช่วง 10.33-10.53 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อของขนมหินลดลงจากขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.91, 9.59 และ 9.30 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 ได้รับคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อยู่ในช่วง 10.27-10.63 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นของขนมหินลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.88 และ 9.96 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม ขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อยู่ในช่วง 11.49-11.83 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากขนมหินแป้งหมักปกติ อยู่ในช่วง 10.19-10.54 คะแนน ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจิ้นลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอือกแข็งแบบโคร โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอือกแข็งที่ 1, 3 และ 5<sup>1/</sup>

| รอบ<br>ที่ | ขนมจิ้น<br>สูตรที่ <sup>2/</sup> | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจิ้นแซ่เอือกแข็งแบบโคร โอเจนิค |               |              |             | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจิ้นแซ่เอือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด |               |              |             |
|------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|
|            |                                  | ความเรียบ                                                     | ความแน่นเนื้อ | ความยืดหยุ่น | ความชุ่ม    | ความเรียบ                                                               | ความแน่นเนื้อ | ความยืดหยุ่น | ความชุ่ม    |
| 1          | 1                                | 8.50±0.53c                                                    | 10.53±0.41a   | 10.27±0.37a  | 11.83±0.53a | 8.53±0.43b                                                              | 11.20±0.50a   | 10.66±0.19a  | 12.13±0.31a |
|            | 2                                | 9.56±0.52b                                                    | 10.50±0.39a   | 10.53±0.40a  | 11.49±0.30a | 9.59±0.52b                                                              | 11.16±0.61a   | 10.18±0.41b  | 11.36±0.41b |
|            | 3                                | 9.48±0.64b                                                    | 10.33±0.43a   | 10.35±0.47a  | 11.80±0.34a | 9.50±0.64b                                                              | 10.39±0.34b   | 10.14±0.50b  | 11.63±0.41b |
|            | 4                                | 9.24±0.33b                                                    | 9.91±0.42b    | 10.63±0.50a  | 10.19±0.61b | 9.36±0.33a                                                              | 10.40±0.31b   | 10.10±0.83b  | 10.34±0.41c |
|            | 5                                | 9.95±0.24a                                                    | 9.59±0.22c    | 9.88±0.51b   | 10.38±0.52b | 9.25±0.24a                                                              | 10.60±0.36b   | 9.46±0.27c   | 10.51±0.45c |
|            | 6                                | 9.82±0.47a                                                    | 9.30±0.26c    | 9.96±0.39b   | 10.54±0.65b | 9.15±0.47a                                                              | 10.69±0.44bb  | 9.63±0.23c   | 10.40±0.44c |
| 3          | 1                                | 6.70±0.63d                                                    | 12.53±0.41a   | 8.25±0.28b   | 12.69±0.20a | 6.83±0.57d                                                              | 12.40±0.35a   | 8.58±0.32b   | 12.48±0.34a |
|            | 2                                | 7.01±0.36cd                                                   | 12.21±0.55ab  | 8.35±0.34b   | 12.35±0.28a | 6.93±0.38cd                                                             | 12.32±0.55a   | 8.43±0.47b   | 12.24±0.28a |
|            | 3                                | 7.39±0.58c                                                    | 12.15±0.67ab  | 8.43±0.38b   | 11.65±0.55b | 7.36±0.46c                                                              | 12.24±0.67a   | 8.61±0.25b   | 11.36±0.55b |
|            | 4                                | 8.26±0.52b                                                    | 12.03±0.28b   | 8.38±0.30b   | 11.01±0.46c | 8.43±0.52b                                                              | 11.84±0.28b   | 9.40±0.26a   | 10.54±0.52c |
|            | 5                                | 9.02±0.26a                                                    | 10.73±0.57c   | 9.52±0.25a   | 10.74±0.26c | 8.94±0.26a                                                              | 10.85±0.57c   | 9.44±0.29a   | 10.56±0.52c |
|            | 6                                | 8.59±0.52ab                                                   | 10.96±0.52c   | 9.42±0.33a   | 10.72±0.36c | 8.47±0.52ab                                                             | 10.90±0.39c   | 9.10±0.41a   | 10.75±0.36c |
| 5          | 1                                | 6.06±0.33c                                                    | 13.04±0.30a   | 8.05±0.79b   | 13.53±0.38a | 6.15±0.33c                                                              | 13.34±0.52a   | 7.43±0.45b   | 13.46±0.38a |
|            | 2                                | 6.74±0.77bc                                                   | 13.05±0.56a   | 8.36±0.61b   | 12.74±0.21b | 6.82±0.27b                                                              | 13.10±0.53ab  | 7.46±0.48b   | 13.28±0.21a |
|            | 3                                | 7.24±1.06ab                                                   | 12.44±0.40a   | 8.20±0.68b   | 11.87±0.68c | 7.09±1.06b                                                              | 12.56±0.40b   | 7.44±0.60b   | 11.79±0.52b |
|            | 4                                | 7.37±0.75ab                                                   | 11.32±0.92b   | 8.54±0.42b   | 11.38±0.63c | 7.30±0.75ab                                                             | 11.61±1.09c   | 7.88±0.29b   | 11.28±0.63c |
|            | 5                                | 7.79±0.17a                                                    | 10.79±0.33c   | 9.53±0.23a   | 10.83±0.48d | 7.84±0.17a                                                              | 10.60±0.33d   | 9.23±0.33a   | 11.08±0.58c |
|            | 6                                | 7.74±0.42a                                                    | 10.80±0.34c   | 9.19±0.15a   | 10.81±0.34d | 7.81±0.36a                                                              | 10.76±0.34d   | 9.21±0.44a   | 11.18±0.42c |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) <sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมจิ้นเหมือนกับตารางที่ 17

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความแข็งทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 8.53 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีคะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากขนมนมจีนแป้งหมักปกติอยู่ในช่วง 9.15-9.36 คะแนน โดยทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ ขนมนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เป็น 11.20 และ 11.16 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 คะแนน ความแข็งด้านความแน่นเนื้อของขนมนมจีนลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากขนมนมจีนแป้งหมักปกติอยู่ในช่วง 10.39-10.69 คะแนน โดยทั้งสี่ระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความยืดหยุ่น ขนมนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่น 10.66 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีความยืดหยุ่นลดลง ขนมนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความยืดหยุ่นลดลงเป็น 9.46 และ 9.63 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่มขนมนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่มเป็น 12.13 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อได้รับคะแนนความชุ่มลดลงจากขนมนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนความแข็งด้านความชุ่มลดลงอยู่ในช่วง 10.34-10.51 คะแนน ตามลำดับ โดยทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 ขนมนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมนมจีนด้านต่างๆดังนี้ คะแนนด้านความเรียบของขนมนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มากกว่าขนมนมจีนแป้งหมักปกติ และการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อที่ระดับอื่นๆ ด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่ม การทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ได้รับคะแนนแข็งด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมนมจีนแป้งหมักปกติ และที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้ออื่นๆ ทั้งนี้เกิดจากการเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อ ทำให้ช่วยลดการเกิดริ้วรอยร้าวเส้นขนมนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่า

ขนมจีนแป้งหมักปกติ ด้านความยืดหยุ่น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ยังคงมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

### 3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนความแข็งทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.70 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20, 30 และ 40 คะแนน ความแข็งด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 7.39, 8.26 และ 9.02 คะแนน ตามลำดับ และเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 คะแนน ความแข็งด้านความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับที่ระดับร้อยละ 40 เป็น 8.59 คะแนน ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 12.15-12.53 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนน ความแข็งด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 12.03, 10.73 และ 10.96 คะแนนตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 8.25-8.43 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนความด้านความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติกับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 9.52 และ 9.42 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม เป็น 12.69 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความชุ่มลดลง เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนความแข็งด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 10.74 และ 10.72 คะแนน ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความแข็งทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.83 เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20, 30 และ 40 คะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 7.36, 8.43 และ 8.94 คะแนน

ตามลำดับ และเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 คะแนนด้านความเรียบ เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 เป็น 8.90 คะแนน ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 อยู่ในช่วง 12.24-12.40 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 11.84, 10.85 และ 10.90 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 อยู่ในช่วง 8.43-8.61 คะแนน ขณะที่ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 30, 40 และ 50 มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 9.40, 9.44 และ 9.01 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม 12.48 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อมีความชุ่มลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 30, 40 และ 50 มีคะแนนด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 10.54, 10.56 และ 10.75 คะแนน ตามลำดับ

จากรอบการกินรูปจากเอือกแข็งที่ 3 ขนมจีนแช่เอือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด มีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันดังนี้ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนความชุ่มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้ออื่นๆ ส่วนด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่ม ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนความชุ่มด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้ออื่นๆ ทั้งนี้เกิดจากแป้งหมักอบผานเนื้อช่วยลดการเกิดรีโทรเกรดจึงทำให้ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อมีความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าแป้งหมักปกติ ความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

#### 4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค ขนมจิ้นแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจิ้นเป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.06 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อมีคะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจิ้นเป้งหมักปกติเป็น 7.79 และ 7.74 คะแนนตามลำดับ โดยทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ ขนมจิ้นเป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 12.44-13.05 คะแนน ที่ระดับการทดแทนด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 30 มีคะแนนความแน่นเนื้อเป็น 11.32 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติกับที่ร้อยละ 30 ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 10.79 และ 10.80 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมจิ้นเป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 อยู่ในช่วง 8.05-8.54 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติกับ ( $p \leq 0.05$ ) ขนมจิ้นเป้งหมักปกติเป็น 9.53 และ 9.19 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่ม ขนมจิ้นเป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม 13.53 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อได้รับคะแนนด้านความชุ่มลดลง เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความชุ่มลดลงเป็น 10.83 และ 10.81 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจิ้นแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจิ้นเป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.15 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจิ้นเป้งหมักปกติเป็น 7.84 และ 7.81 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ ขนมจิ้นเป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อเป็น 13.34 และ 13.10 คะแนน ตามลำดับ ที่ระดับการทดแทนด้วยเป้ง

เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 10.60 และ 10.76 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับ ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 อยู่ในช่วง 7.43-7.88 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติกับ ( $p \leq 0.05$ ) ขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.23 และ 9.21 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่ม ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม 13.46 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อได้รับคะแนนด้านความชุ่มลดลง เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติกับ ( $p \leq 0.05$ ) ขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 11.08 และ 11.18 คะแนน ตามลำดับ

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด มีการเปลี่ยนแปลงคะแนนความชื้นทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกันดังนี้ ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่นๆ และมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่น เกิดจากการทดแทนแป้งหมักอบผสานเนื้อมากขึ้นทำให้สามารถลดการเกิดรีโทรเกรดได้มากขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ขนมหินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความชื้นด้านความเรียบ ความยืดหยุ่น และความชุ่มใกล้เคียงกัน ส่วนความแน่นเนื้อของขนมหินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีมากกว่าแบบไครโอเจนิคเล็กน้อย และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมหินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความชื้นด้านอื่นๆ ใกล้เคียงกัน ยกเว้นด้านความยืดหยุ่นมีคะแนนน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค อาจเกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถทำให้ขนมหินถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ

ลัมผัสโลหะเย็นจัด ทำให้ขนมจินแฉ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคเกิดรีโทรเกรดน้อย มีความแน่นเนื้อน้อย และความยืดหยุ่นมากกว่าการแฉ่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

#### ข. ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจินแป็งหมักปกติ และขนมจินทดแทนแป็งหมักด้วยแป็งหมักอบผานเนื้อ ด้านความชอบรวมของขนมจินแฉ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตรแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการ  
คืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5

126

| รอบที่ | ขนมจีน<br>สูตรที่ <sup>1/</sup> | จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส |   |   |   |   |   |                                                          |   |   |   |   |   |
|--------|---------------------------------|------------------------------------------------|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|
|        |                                 | ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค <sup>2/</sup>  |   |   |   |   |   | ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด <sup>2/</sup> |   |   |   |   |   |
|        |                                 | 3                                              | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 3                                                        | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1      | 1                               | -                                              | - | - | 2 | 6 | - | -                                                        | - | - | 3 | 5 | - |
|        | 2                               | -                                              | - | - | 5 | 3 | - | -                                                        | - | - | 5 | 3 | - |
|        | 3                               | -                                              | - | 1 | 4 | 3 | - | -                                                        | - | 1 | 4 | 3 | - |
|        | 4                               | -                                              | - | - | 2 | 6 | - | -                                                        | - | - | 3 | 5 | - |
|        | 5                               | -                                              | - | - | - | 6 | 2 | -                                                        | - | - | - | 7 | 1 |
|        | 6                               | -                                              | - | - | 3 | 5 | - | -                                                        | - | - | 4 | 4 | - |
| 5      | 1                               | 1                                              | 7 | - | - | - | - | 2                                                        | 6 | - | - | - | - |
|        | 2                               | 1                                              | 7 | - | - | - | - | 2                                                        | 6 | - | - | - | - |
|        | 3                               | 1                                              | 3 | 4 | - | - | - | 1                                                        | 3 | 4 | - | - | - |
|        | 4                               | -                                              | - | 6 | 2 | - | - | -                                                        | 1 | 4 | 2 | - | - |
|        | 5                               | -                                              | - | - | 2 | 6 | - | -                                                        | - | - | 3 | 5 | - |
|        | 6                               | -                                              | - | - | 3 | 5 | - | -                                                        | - | - | 6 | 2 | - |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 17

<sup>2/</sup> คะแนน 3=ไม่ชอบปานกลาง, คะแนน 4=ไม่ชอบเล็กน้อย, คะแนน 5= เฉยๆ, คะแนน 6=ชอบเล็กน้อย, คะแนน 7= ชอบปานกลาง, คะแนน 8=ชอบมาก

### รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจิ้นเป้งหมักปกติได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 10 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 5 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 3 คน แต่ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 6 คน และมีผู้ให้คะแนนชอบมาก 2 คน แตกต่างกับขนมจิ้นตัวอย่างอื่น เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อยเป็น 3 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 5 คน

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจิ้นเป้งหมักปกติได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 5 คน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 10 ผู้ทดสอบให้คะแนนเล็กน้อย 5 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 3 คน แต่ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 7 คน และคะแนนชอบมาก 1 คน แตกต่างกับขนมจิ้นตัวอย่างอื่น เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อยเพิ่มขึ้นเป็น 4 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 4 คน

### รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจิ้นเป้งหมักปกติได้รับคะแนนไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 7 คน เช่นเดียวกับการทดแทนด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ ร้อยละ 10 เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 ผู้ทดสอบให้คะแนนไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 3 คน เฉยๆ 4 คน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 40 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน แตกต่างกับขนมจิ้นตัวอย่างอื่น แต่ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลางเพียง 5 คน

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำแข็งแข็งหักปกติได้รับคะแนนไม่ชอบปานกลาง 2 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 6 คน เช่นเดียวกับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 10 เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 ผู้ทดสอบให้คะแนนไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 3 คน เฉยๆ 4 คน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 5 คน แตกต่างกับขนมน้ำแข็งตัวอย่างอื่น แต่ขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 50 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 6 คน ชอบปานกลางเพียง 2 คน

จากการตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ปรากฏว่า รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ขนมน้ำแข็งหักปกติมีผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบน้อยกว่าขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 เกิดจากขนมน้ำแข็งไทรเอดรอน ทำให้ขนมน้ำแข็งหักปกติมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลง ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น ขณะที่ขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มีความคงทนต่อการเกิดไทรเอดรอน มีความเรียบ และความยืดหยุ่นมาก ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นน้อยกว่าขนมน้ำแข็งหักปกติ ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบมากกว่าขนมน้ำแข็งหักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมน้ำแข็งหักปกติเกิดไทรเอดรอนมากขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างขนมน้ำแข็งหักปกติ และขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ซึ่งเกิดไทรเอดรอนน้อยกว่า ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มากกว่าขนมน้ำแข็งหักปกติ และขนมน้ำแข็งตัวอย่างอื่น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ขนมน้ำแข็งหักปกติ และขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคได้รับคะแนนความชอบมากกว่าขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด อาจเกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถแช่เยือกแข็งขนมน้ำแข็งถึงจุดเยือกแข็งเร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคเกิดไทรเอดรอนน้อย มีเนื้อสัมผัสดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค มากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

### 2.3.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างขมจีน

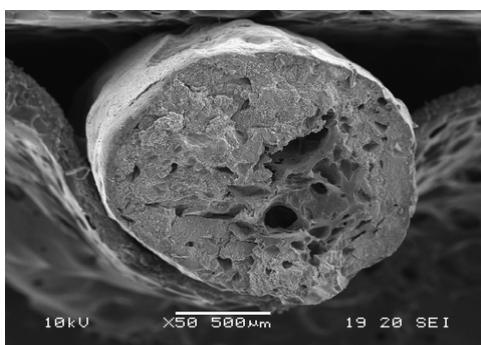
จากการตรวจสอบโครงสร้างของขมจีนแป้งหมักปกติ และขมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 20 และ 40 ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขมจีนแป้งหมักปกติมีโครงสร้างขมจีนค่อนข้างแน่น มีรูพรุนเล็กน้อย ขณะที่ขมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 20 และ 40 มีโครงสร้างขมจีนแน่นมีรูพรุนน้อยกว่าขมจีนแป้งหมักปกติ ทั้งนี้อาจเกิดจากสสารของแป้งหมักอบผสานเนื้อสามารถพองตัว และละลายได้น้อย และทนต่อการเกิดเจลได้มากกว่าแป้งหมักปกติ ทำให้โครงสร้างขมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อแน่นกว่าขมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขมจีนแป้งหมักปกติมีรูพรุนเกิดขึ้นจำนวนมาก อาจเป็นสาเหตุให้ความยืดหยุ่นของขมจีนลดลง ขณะที่ขมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีรูพรุนเกิดขึ้น แต่น้อยกว่าขมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ การทดแทนที่ร้อยละ 20 มีเนื้อแน่นน้อย มีรูพรุนมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แสดงดังภาพที่ 27 สอดคล้องกับผลการตรวจสอบโครงสร้างของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อมาก มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าเจลแป้งหมักปกติ

สูตรที่

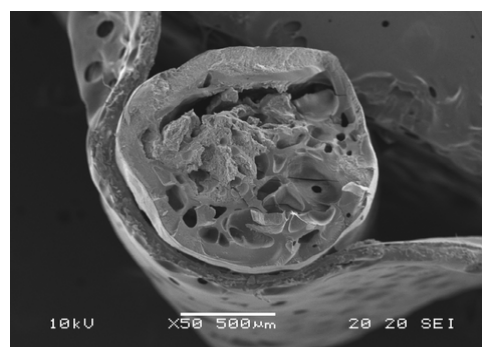
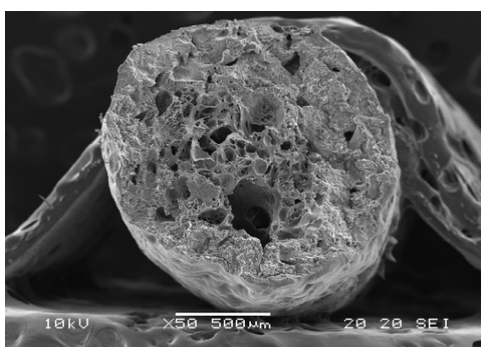
ก่อนแช่เยือกแข็ง

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

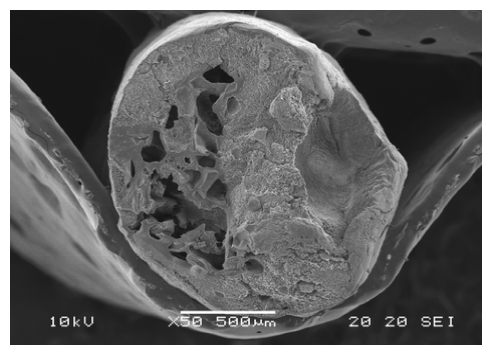
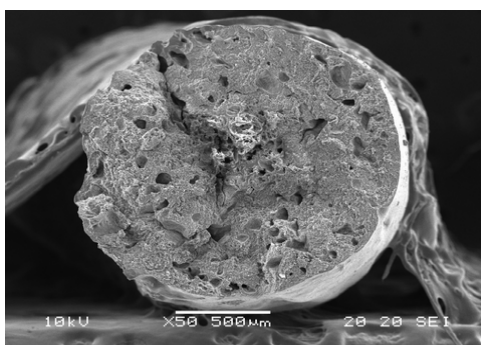
1



3



5



ภาพที่ 27 โครงสร้างขมจีนแป้งหมักปกติ (สูตรที่ 1) และขมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบสาคูเนื้อร้อยละ 20 (สูตรที่ 3) และ 40 (สูตรที่ 5) กำลังขยาย 50 เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

เมื่อพิจารณาผลของการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ในการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดให้ผลคล้ายคลึงกัน จึงพิจารณาเพื่อคัดเลือกเลือกขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 ร่วมกันได้ดังนี้

จากผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความแน่นเนื้อก่อนการแช่เยือกแข็งมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อที่ระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 และ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ ด้านความยืดหยุ่น ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความยืดหยุ่นมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 แต่ไม่แตกต่างกับขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 แต่ทั้งสองมีความยืดหยุ่นมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความเรียบ และความแน่นเนื้อมาก แต่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีคะแนนความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และมีความแน่นเนื้อ และความขุ่นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อที่ระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ และเมื่อพิจารณาผลของการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ให้ค่าความแน่นเนื้อน้อย และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ซึ่งจากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความเหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่น และขนมจีนแป้งหมักปกติ จึงเลือกขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคเพื่อผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

### 3. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม

ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง คัดเลือกกัม 3 ชนิดเพื่อตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรด ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัสของเจลหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

#### 3.1 สมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม

ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกัวร์ กัมโลกัสปีน กัมคาร์ราจีแนน กัมอาร์บิก และกัมแอลจินตร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ด้วยเครื่องอาร์วีเอ แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | สมบัติด้านความหนืด (เซนติปัวส์) |                |              |                 |              |
|------------------------|---------------------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------|
|                        | ความหนืดสูงสุด                  | ความหนืดต่ำสุด | ความหนืดลดลง | ความหนืดสุดท้าย | เซตแบบ       |
| FRF                    | 2,219±30.12d                    | 1,602±52.69c   | 616±58.54c   | 2,265±58.82c    | 662±34.27b   |
| XANF0.1                | 2,861±12.58c                    | 1,922±2.65b    | 939±12.66b   | 2,709±51.29b    | 787±52.00b   |
| XANF0.3                | 3,006±9.07b                     | 2,241±3.79a    | 764±7.77bc   | 2,925±27.84a    | 683±28.01b   |
| XANF0.5                | 3,109±8.62a                     | 1,265±51.15d   | 1,844±43.10a | 3,001±11.53a    | 1,736±62.43a |
| FRF                    | 2,219±30.12c                    | 1,602±52.69c   | 616±58.54d   | 2,265±58.82c    | 662±34.27c   |
| CMCF0.1                | 2,546±6.24d                     | 1,389±5.51d    | 1,156±7.51c  | 2,558±3.51c     | 1,169±33.46b |
| CMCF0.3                | 3,608±12.66b                    | 1,546±5.56b    | 2,062±15.01b | 3,416±5.13b     | 1,870±7.00a  |
| CMCF0.5                | 3,778±17.04a                    | 2,009±6.24a    | 1,769±16.26a | 3,863±9.29a     | 1,854±6.03a  |
| FRF                    | 2,219±30.12d                    | 1,602±52.69c   | 616±58.54d   | 2,265±58.82b    | 6,62±34.27b  |
| GUAF0.1                | 2,578±10.82c                    | 1,382±6.43c    | 1,195±5.69c  | 2,515±6.66b     | 1,133±7.02a  |
| GUAF0.3                | 3,822±11.59b                    | 2,294±8.62b    | 1,528±10.07b | 3,322±13.58a    | 1,028±5.06a  |
| GUAF0.5                | 4,187±6.11a                     | 2,618±4.04a    | 1,568±10.02a | 3,725±1.54a     | 1,107±4.58a  |
| FRF                    | 2,219±30.12d                    | 1,602±52.69c   | 616±58.54d   | 2,265±58.82d    | 662±34.27d   |
| LBGF0.1                | 2,404±9.64c                     | 1,168±7.09d    | 935±5.30c    | 2,311±5.03c     | 1,142±2.08c  |
| LBGF0.3                | 3,072±3.06b                     | 1,941±3.21b    | 1,131±6.08b  | 3,320±4.51b     | 1,379±1.73b  |
| LBGF0.5                | 3,947±3.21a                     | 2,589±4.58a    | 1,358±2.31a  | 4,103±12.68a    | 1,514±14.42a |
| FRF                    | 2,219±30.12d                    | 1,602±52.69a   | 616±58.54d   | 2,265±58.82c    | 662±34.27c   |
| CRGF0.1                | 2,615±3.51c                     | 830±4.04d      | 784±2.58c    | 1,720±4.51d     | 890±1.59b    |
| CRGF0.3                | 2,717±9.71b                     | 1,438±8.19c    | 1,179±1.04b  | 3,411±78.53b    | 1,973±70.72a |
| CRGF0.5                | 2,880±15.10a                    | 1,562±6.08b    | 1,318±9.54a  | 3,619±84.29a    | 2,057±80.87a |
| FRF                    | 2,219±30.12a                    | 1,602±52.69a   | 616±58.54b   | 2,265±58.82a    | 662±34.27b   |
| ARBF0.1                | 1,695±6.34c                     | 927±5.13d      | 767±8.50a    | 1,818±7.64c     | 890±2.52a    |
| ARBF0.3                | 1,868±5.13b                     | 1,149±7.51c    | 719±5.69a    | 2,023±5.69b     | 874±5.13a    |
| ARBF0.5                | 1,912±9.85b                     | 1,275±5.03b    | 716±12.58a   | 2,008±8.19b     | 832±8.74a    |
| FRF                    | 2,219±30.12b                    | 1,602±52.69a   | 616±58.54d   | 2,265±58.82a    | 662±34.27d   |
| ALGF0.1                | 1,736±12.58d                    | 768±16.07b     | 968±11.55c   | 1,605±5.03c     | 837±16.64c   |
| ALGF0.3                | 1,951±6.66c                     | 627±4.36c      | 1,391±4.36b  | 1,591±5.57d     | 1,030±9.81b  |
| ALGF0.5                | 2,374±3.61a                     | 560±5.03d      | 1,747±5.29a  | 2,132±2.65b     | 1,505±2.09a  |

หมายเหตุ

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ขนหมักแป้งหมักปกติ (FRF), แป้งหมักผสมกัมแซนแทน (XANF), กัมซีเอ็มซี (CMCF), กัมการ์ (GUAF), กัมโลกส์ป็น (LBGF), กัมคาร์ราจีแนน (CRGF), กัมอาร์บิก (ARBF), กัมแอลจินต (ALGF)

### 3.1.1 กัมแซนแทน

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,861, 3,006 และ 3,109 เซนติปัวส์

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,922 และ 2,241 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,265 เซนติปัวส์

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เป็น 939 และ 764 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นเป็น 1,844 เซนติปัวส์

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,265 และ 2,925 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับการผสมกัมร้อยละ 0.3 เป็น 3,001 เซนติปัวส์

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 เซตแบคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กันกับแป้งหมักปกติเป็น 787 และ 683 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 เซตแบคเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,736 เซนติปัวส์

จากการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีค่าความหนืดสูงสุด และเซตแบคเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น แอมิโลสที่ซึมออกมาจากสตาร์ชสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับกัมแซนแทน ความหนืดสูงสุด และเซตแบคของแป้งหมักผสมกัมแซนแทนร้อยละ 0.5 จึงเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ และแป้งหมักปกติผสมกัม ร้อยละ 0.1 และ 0.3

### 3.1.2 กัมซีเอ็มซี

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมเป็นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,546, 3,608 และ 3,778 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,546 และ 2,009 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,156 และ 2,062 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดลดลงเป็น 1,769 เซนติปัวส์

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 3,416 และ 3,863 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,169, 1,870 และ 1,854 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซี เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากกัม และเอมิโลสที่ซึมออกมาจากเมล็ดสาร์ซเกิดปฏิสัมพันธ์กัน ทำให้มีค่าสมบัติด้านความหนืดเพิ่มขึ้น

### 3.1.3 กัมกัวร์

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,578, 3,822 และ 4,187 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับการผสมกับร้อยละ 0.1 (1,382 เซนติปัวส์) เมื่อผสมกับเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,294 และ 2,618 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,195, 1,528 และ 1,568 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ ไม่แตกต่างกับการผสมกับร้อยละ 0.1 (2,515 เซนติปัวส์) เมื่อผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 3,322 และ 3,725 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,133, 1,028 และ 1,107 เซนติปัวส์ ตามลำดับ แต่การผสมกัมที่ความเข้มข้นทั้งสามให้ค่าเซตแบคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และ ความหนืดลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัม และเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าเซตแบค แป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.5 ไม่แตกต่างกัน การเพิ่มปริมาณกัมเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

#### 3.1.4 กัมโลกัสปิน

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,404, 3,072 และ 3,947 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติกับการผสมกัมร้อยละ 0.1 เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,941 และ 2,589 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 935, 1,131 และ 1,318 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,311, 3,320 และ 4,103 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติ เป็น 1,142, 1,379 และ 1,514 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกัมโลกัสบีน์ ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคสูงขึ้นเมื่อปริมาณกัมโลกัสบีน์มากขึ้น เกิดจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลสตาร์ช และกัมทำให้สมบัติด้านความหนืดของแป้งผสมกัมมีมากขึ้น

### 3.1.5 กัมคาร์ราจีแนน

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,615, 2,717 และ 2,880 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 830 เซนติปัวส์ ปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,438 และ 1,562 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 784, 1,179 และ 1,318 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 ความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,720 เซนติปัวส์ ปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 3,411 และ 3,619 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 890, 1,973 และ 2,057 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกับคาร์ราจีแนน ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัมที่เพิ่มขึ้น ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายของแป้งหมักผสมกับร้อยละ 0.1 มีค่าลดลงจากแป้งหมักปกติ และเมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ค่าความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.1 ค่าเซตแบคของแป้งหมักผสมกัมมีค่าเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ

### 3.1.6 กัมอารบิก

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,695, 1,868 และ 1,912 เซนติปัวส์ ตามลำดับ การผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.5 ทำให้ความหนืดสูงสุมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับการผสมกับร้อยละ 0.1

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 927 เซนติปัวส์ เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับที่ระดับร้อยละ 0.1 เป็น 1,149 และ 1,275 เซนติปัวส์ ตามลำดับ แต่ทั้งสองยังคงมีค่าความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 767, 719 และ 716 เซนติปัวส์ ตามลำดับ โดยทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1 ความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,605 เซนติปัวส์ และการผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับการผสมกับร้อยละ 0.1 เป็น 2,023 และ 2,008 เซนติปัวส์ ตามลำดับ แต่ทั้งสองยังคงมีความหนืดสุดท้ายน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

เซตเบค แป้งหมักปกติมีเซตเบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตเบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติเป็น 890, 874 และ 832 เซนติปัวส์ ตามลำดับ โดยทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกับอารบิกมีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดสุดท้ายลดลงน้อยกว่าแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากการผสมกับอารบิกลดการพองตัวของสตาร์ชในแป้งหมัก และเมื่ออุณหภูมิของระบบลดลง ค่าเซตเบคของแป้งหมักผสมกับเพิ่มขึ้น

### 3.1.7 กัมแอลจินต

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดสูงสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,739 และ 1,951 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,374 เซนติปัวส์

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 768, 627 และ 560 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 968, 1,391 และ 1,747 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,605, 1,591 และ 2,132 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นมากกว่าการผสมกับระดับความเข้มข้นอื่น

เซตเบค แป้งหมักปกติมีเซตเบคเป็น 662 เซนติปวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตเบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับแป้งหมักปกติเป็น 837, 1,030 และ 1,505 เซนติปวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกับแอลจินต การผสมกับร้อยละ 0.1 และ 0.3 ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลงจากแป้งหมักปกติ เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่าแป้งหมักปกติ การผสมกับอาจลดการพองตัวของสตาร์ช เป็นผลให้ค่าความหนืดต่ำสุดลดลง

เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละชนิด ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 แป้งหมักปกติผสมกัมกั้วร์ให้ความหนืดสูงสุดมากที่สุด รองลงมาเป็นกัมโลกส์บีน กัมซีเอ็มซี กัมแซนแทน กัมคาร์ราจีแนน กัมแอลจินต และกัมอารบิกตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากัมกั้วร์สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับสตาร์ชในแป้งได้มากที่สุด

### 3.2 สมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง

ผลการเตรียมเจลแป้งหมักร้อยละ 8 และเจลแป้งหมักร้อยละ 8 ผสมกับแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกั้วร์ กัมโลกส์บีน กัมคาร์ราจีแนน กัมอารบิก และกัมแอลจินตร้อยละ 0.5 แช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18 องศาเซลเซียส และตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำก่อนการแช่เยือกแข็งและรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำก่อน และหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งหมักปกติ และแป้งหมักปกติผสมกับร้อยละ 0.5<sup>1/</sup>

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | จำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง (ครั้ง) |             |             |             |
|------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                        | ปกติ                                  | 1           | 3           | 5           |
| FRF                    | 0.36±0.04a                            | 15.54±1.30a | 48.27±0.68a | 56.76±1.00a |
| XANF                   | 0.16±0.03bc                           | 5.65±1.60d  | 28.58±0.67e | 32.89±1.13e |
| CMCF                   | 0.17±0.07bc                           | 4.73±1.03d  | 25.15±1.25f | 29.02±0.80f |
| GUAF                   | 0.15±0.02bc                           | 12.91±0.74b | 27.90±1.59e | 36.62±1.29d |
| LBGF                   | 0.16±0.01bc                           | 16.52±0.10a | 36.87±0.49d | 41.95±0.96c |
| CRGF                   | 0.17±0.02b                            | 15.67±1.31a | 42.58±0.85b | 42.63±1.32c |
| ARBF                   | 0.16±0.02bc                           | 16.31±1.37a | 43.44±1.56b | 45.70±1.49b |
| ALGF                   | 0.14±0.03c                            | 10.13±2.22c | 39.49±1.56c | 42.48±1.33c |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 23

### 3.2.1 ร้อยละการสูญเสียน้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักปกติมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำมากที่สุดร้อยละ 0.36 รองลงมาเป็นเจลแป้งผสมกับการาจีแนน (ร้อยละ 0.17) ซึ่งมีร้อยละการสูญเสียน้ำของเจลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกับแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกัวร์ กัมโลกส์ป็น และกัมอารบิก เป็นร้อยละ 0.16, 0.17, 0.15, 0.16 และ 0.16 ส่วนแอลจินตมีค่าเป็นร้อยละ 0.14

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแป้งหมักปกติมีร้อยละการสูญเสียน้ำเป็น 15.54 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักปกติผสมกับโลกส์ป็น, กัมคาร์ราจีแนน และกัมอารบิก มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกับแอลจินต (ร้อยละ 10.13), เจลแป้งหมักผสมกับกัวร์ (ร้อยละ 12.91) ส่วนเจลแป้งหมักผสมกับแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีร้อยละการสูญเสียน้ำน้อยที่สุดเป็นร้อยละ 5.65 และ 4.73 ตามลำดับ

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแข็งหมักปกติมีร้อยละการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 48.27 รองลงมาเป็นเจลแข็งหมักผสมกับคาราจีแนน (ร้อยละ 42.53) และเจลแข็งหมักผสมกับอารบิก (ร้อยละ 43.44) เจลแข็งหมักผสมกับทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อันดับที่ 3 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับแอลจินेट (ร้อยละ 39.49) อันดับที่ 4 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับกัมโลกส์บิน (ร้อยละ 36.87) อันดับที่ 5 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับแซนแทน (ร้อยละ 28.58) และกัมกัวร์ (ร้อยละ 27.90) โดยเจลแข็งหมักผสมกับทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และสุดท้ายมีการสูญเสียให้น้อยที่สุดเป็นกัมซีเอ็มซี (ร้อยละ 25.15)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแข็งหมักปกติมีร้อยละการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 56.76 รองลงมาเป็นเจลแข็งหมักผสมกับอารบิก (ร้อยละ 45.70) อันดับที่ 3 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับโลกส์บิน (ร้อยละ 41.95), คาราจีแนน (ร้อยละ 42.63) และแอลจินेट (ร้อยละ 42.48) โดยเจลแข็งหมักผสมกับทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนเจลแข็งหมักผสมกับกัมกัวร์ กัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีร้อยละการสูญเสียลดลงน้อยกว่าอันดับที่ 3 เป็น 36.62, 32.89 และ 29.02 ตามลำดับ

จากการตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำ เจลแข็งหมักผสมกับซีเอ็มซี กัมแซนแทน และกัมกัวร์ มีร้อยละการสูญเสียในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เป็น 29.02, 32.89 และ 36.62 ตามลำดับ น้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติ คือ 56.76 และเจลแข็งหมักผสมชนิดอื่น อาจเกิดจากการผสมกับช่วยลดการพองตัวของสตาร์ระหว่างเกิดเจลลาทีไนซ์ และกัมที่กระจายตัวเป็นตาข่ายในเจลช่วยขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของสายแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน ทำให้ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรดของเจลแข็งหมักปกติผสมกันได้ และนอกจากนี้กัมยังมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ส่งผลให้การสูญเสียของเจลแข็งหมักปกติผสมกับลดลง จึงคัดเลือกกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์เพื่อใช้ในการตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแข็งหลังคืนรูปจากเยือกแข็งต่อไป

### 3.3 สมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์ และรีโทรเกรดของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัม

ผลการทดลองได้จากการเตรียมสารแขวนลอยของกัมกับน้ำร้อยละ 0.5 หลังจากนั้นผสมแป้งหมักในสารแขวนลอยของกัมกับน้ำให้มีความเข้มข้นของแป้งกับน้ำเป็นร้อยละ 10 และตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์แป้งหมัก และการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้งหมัก (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกของแป้งหมักปกติ แป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 หลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5<sup>1/</sup>

| สภาวะ      | ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | อุณหภูมิ (°C)    |                |                 | ค่าพลังงาน<br>สลายพันธะ<br>(จูล/ก) |
|------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------------------------|
|            |                        | อุณหภูมิเริ่มต้น | อุณหภูมิสูงสุด | อุณหภูมิสุดท้าย |                                    |
| เจลที่ไนซ์ | FRF                    | 69.13±0.04a      | 72.29±0.12b    | 76.50±0.37ab    | 10.83±0.71a                        |
|            | XANF                   | 66.64±0.99c      | 72.66±0.14a    | 76.36±0.11b     | 8.87±0.06c                         |
|            | CMCF                   | 67.38±0.47bc     | 72.68±0.17a    | 75.14±0.08c     | 8.60±0.10c                         |
|            | GUAF                   | 68.26±0.18ab     | 72.27±0.05b    | 76.85±0.13a     | 9.97±0.40b                         |
| รีโทรเกรด  | FRF                    | 50.39±0.57ns     | 55.83±0.16b    | 63.05±0.36a     | 0.8925±0.085a                      |
|            | XANF                   | 50.64±0.30ns     | 57.71±0.46a    | 60.82±0.76b     | 0.0640±0.048b                      |
|            | CMCF                   | 50.15±0.16ns     | 56.41±0.33b    | 59.37±0.08c     | 0.0306±0.040b                      |
|            | GUAF                   | 50.45±0.31ns     | 55.86±0.64b    | 61.17±0.60b     | 0.0882±0.065b                      |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ขนมหินแป้งหมักปกติ (FRF), แป้งหมักผสมกัมแซนแทน (XANF), กัมซีเอ็มซี (CMCF) และ กัมกัวร์ (GUAF)

### 3.3.1 สมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์

อุณหภูมิเริ่มต้น แป้งหมักปกติเป็น  $69.13^{\circ}\text{C}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ( $68.26^{\circ}\text{C}$ ) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ( $66.64^{\circ}\text{C}$ ) และแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ( $67.38^{\circ}\text{C}$ ) โดยแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อุณหภูมิสูงสุด แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุด  $72.29^{\circ}\text{C}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ( $72.27^{\circ}\text{C}$ ) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ( $72.66^{\circ}\text{C}$ ) และกัมซีเอ็มซี ( $72.68^{\circ}\text{C}$ ) โดยแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อุณหภูมิสุดท้าย แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็น  $76.50^{\circ}\text{C}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ( $76.36^{\circ}\text{C}$ ) และกัมกัวร์ ( $76.85^{\circ}\text{C}$ ) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ( $75.14^{\circ}\text{C}$ ) แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีอุณหภูมิสุดท้ายน้อยที่สุด ค่าพลังงานสลายพันธะ แป้งหมักปกติมีพลังงานสลายพันธะเป็น 10.83 จูล/กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) แป้งหมักผสมกัมแซนแทน (8.87 จูล/กรัม) กัมซีเอ็มซี (8.60 จูล/กรัม) และกัมกัวร์ (9.97 จูล/กรัม) โดยแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีค่าพลังงานสลายพันธะน้อยที่สุด

### 3.3.2 สมบัติการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้งหมักผสมกัม รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

อุณหภูมิเริ่มต้น เจลแป้งหมักปกติเป็น  $50.39^{\circ}\text{C}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ( $50.64^{\circ}\text{C}$ ) กัมซีเอ็มซี ( $50.15^{\circ}\text{C}$ ) และกัมกัวร์ ( $50.45^{\circ}\text{C}$ ) อุณหภูมิสูงสุด เจลแป้งหมักปกติเป็น  $55.83^{\circ}\text{C}$  น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ( $57.71^{\circ}\text{C}$ ) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ อุณหภูมิสุดท้าย เจลแป้งหมักปกติเป็น  $63.05^{\circ}\text{C}$  มากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (60.82) และกัมกัวร์ (61.17) เจลแป้งหมักผสมกัมทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ส่วนเจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีอุณหภูมิสุดท้ายน้อยที่สุดเป็น  $59.37^{\circ}\text{C}$  ค่าพลังงานการสลายพันธะ การเกิดรีโทรเกรด เจลแป้งหมักปกติเป็น 0.8925 จูล/กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (0.0640 จูล/กรัม) กัมซีเอ็มซี (0.0306 จูล/กรัม) และกัมกัวร์ (0.0882 จูล/กรัม) เจลแป้งหมักผสมกัมทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

จากการตรวจสอบค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลทีไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรด แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมแซนแทนมีค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดเจลทีไนซ์ไม่แตกต่างกัน และน้อยกว่าแป้งหมักผสมกัมกัวร์ และแป้งหมักปกติ ทั้งนี้เกิดจากการผสมกัม ซึ่งมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง ส่งผลให้เมล็ดสตาร์ชได้รับปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลทีไนซ์ ค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลทีไนซ์ของแป้งหมักผสมกัมจึงน้อยกว่าแป้งหมักปกติ และเมื่อนำเจลแป้งหมักที่ผ่านการเกิดเจลทีไนซ์มาแช่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็ง 5 รอบ เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ ทั้งนี้เกิดจากการผสมกัมซึ่งกระจายตัวอยู่ในเจลแป้ง ช่วยขัดขวางการเคลื่อนที่ของแอมิโลส หรือแอมิโลเพกทินมาจับตัวกัน ทำให้เกิดรีโทรเกรดได้น้อยลง สอดคล้องกับร้อยละการสูญเสียน้ำ แสดงให้เห็นว่าการลดการสูญเสียของเจลแป้งหมักผสมกัมหลังคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นผลจากการขัดขวางการลดการเกิดรีโทรเกรดร่วมกับสมบัติของกัมในการจับน้ำได้ดี จึงทำให้เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์มีร้อยละการสูญเสียน้ำน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ

### 3.4 การตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแป้งหมักหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ผลการเตรียมเจลแป้งหมักความเข้มข้นของแป้งหมักร้อยละ 8 ผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ร้อยละ 0.3 และวัดค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของเจลแป้งหมักก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสรอบที่ 1, 3 และ 5 (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเจลแข็งหมักปกติ และเจลแข็งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 แซ่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด และคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5<sup>1/</sup>

147

| ตัวอย่าง <sup>2/</sup> | จำนวนรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็ง (ครั้ง) |               |               |              |                 |              |             |             |
|------------------------|----------------------------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|
|                        | ค่าความแน่นเนื้อ                       |               |               |              | ค่าความยืดหยุ่น |              |             |             |
|                        | ปกติ                                   | 1             | 3             | 5            | ปกติ            | 1            | 3           | 5           |
| FRF                    | 35.27±2.58a                            | 342.71±12.85a | 380.07±7.35a  | 400.44±6.16a | 33.68±2.33a     | 76.71±2.31a  | 53.95±1.67a | 30.91±4.84b |
| XANF                   | 24.97±1.98c                            | 227.09±6.72c  | 271.39±6.92c  | 294.15±4.97c | 21.77±4.94c     | 43.51±5.67bc | 44.16±2.30b | 44.60±2.78a |
| CMCF                   | 26.81±2.75bc                           | 257.47±9.67b  | 268.74±32.16c | 298.61±6.57c | 21.96±4.072c    | 41.43±7.28c  | 43.81±2.88b | 47.16±1.95a |
| GUAF                   | 28.58±1.21b                            | 259.26±3.31b  | 305.38±8.50b  | 324.98±8.92b | 28.65±2.09b     | 51.24±3.11b  | 54.44±1.59a | 51.77±3.65a |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 25

### 3.4.1 ผลความแน่นเนื้อ

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแข็งหมักปกติ มีความแน่นเนื้อ 35.27 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (24.97 กรัม) กัมซีเอ็มซี (26.81 กรัม) และกัมกัวร์ (28.58 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่น้อยกว่ากับกัมกัวร์ เจลแข็งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกับกัมกัวร์ ( $p > 0.05$ )

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 342.71 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (227.09 กรัม) กัมซีเอ็มซี (257.47 กรัม) และกัมกัวร์ (259.26 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แต่เจลแข็งหมักผสมกัมซีเอ็มซีและกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 380.07 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (271.39 กรัม) กัมซีเอ็มซี (268.74 กรัม) และกัวร์ (305.38 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่เจลแข็งหมักผสมกัมทั้งสองมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแข็งหมักผสมกัมกัวร์

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 400.44 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (294.15 กรัม) กัมซีเอ็มซี (298.61 กรัม) และกัมกัวร์ (324.98 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่เจลแข็งหมักผสมกัมทั้งสองแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแข็งหมักผสมกัมกัวร์

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ เจลแข็งหมักผสมกัมมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง เกิดจากเจลแข็งหมักผสมกัมเกิดรีโทเกรดได้น้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติการเคลื่อนที่มาจับกันของเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทินทำให้ลดการแข็ง และเปราะของเจลแข็ง รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เจลแข็งหมักผสมกัม

แซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่า เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมกัวร์

### 3.4.2 ผลความยืดหยุ่น

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 33.68 มากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (21.77) กัมซีเอ็มซี (21.96) และกัมกัวร์ (28.65) เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่ทั้งสองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกัมกัวร์

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 76.71 มากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (43.51) กัมซีเอ็มซี (41.43) และกัมกัวร์ (51.24) เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แต่เจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

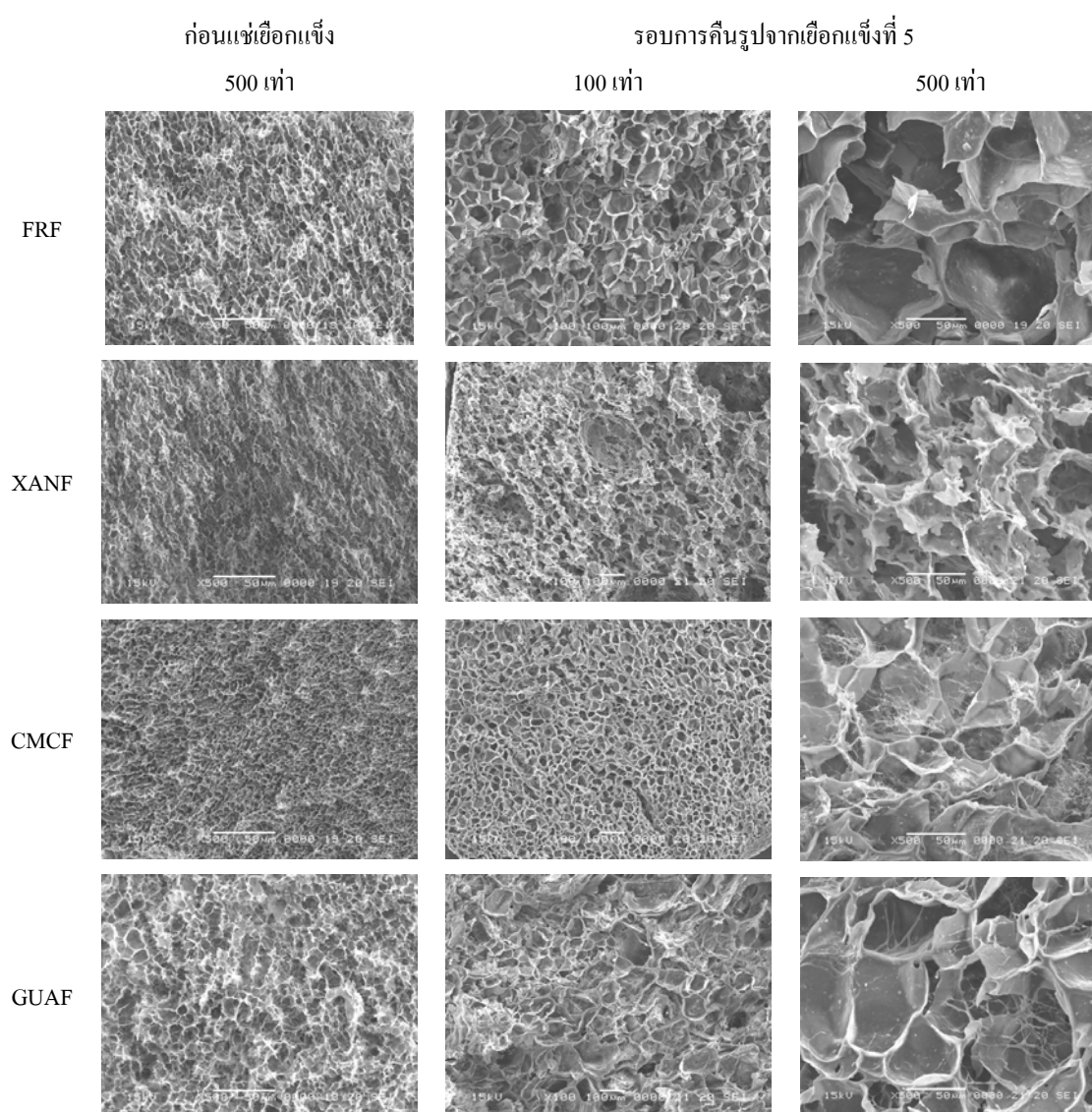
รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 53.95 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกัมกัวร์ (54.44) แต่ทั้งสองมีความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (44.16) และกัมซีเอ็มซี (43.81) เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 30.91 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (44.60) กัมซีเอ็มซี (47.16) และกัมกัวร์ (51.77) เจลแป้งหมักผสมกัมทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการตรวจสอบค่าความยืดหยุ่นของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัม เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีค่าความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักปกติ ทั้งนี้เกิดจากเจลแป้งหมักผสมกัมเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ ทำให้มีความแข็งแรงน้อย มีความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักปกติ ในทางตรงกันข้ามเจลแป้งหมักปกติซึ่งเกิดรีโทรเกรดมากกว่า จึงมีเนื้อสัมผัสเจลแข็ง และเปราะ เมื่อวัดค่าความยืดหยุ่น เจลแป้งหมักปกติแตกออกทันที ไม่มีแรงต้านต่อหัววัดค่าความยืดหยุ่นจึงน้อย

### 3.5 ผลการตรวจสอบโครงสร้างของเจลแป็ง

ผลการนำเจลแป็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมถั่วที่เตรียมจากข้อ 3.4 มาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) เคลือบด้วยทองคำและส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 โครงสร้างเจลแป็งหมักปกติ (FRF) ความเข้มข้นร้อยละ 8 เจลแป็งหมักผสมกัมแซนแทน (XANF) กัมซีเอ็มซี (CMCF) และกัมถั่ว (GUAF) ร้อยละ 0.5 ก่อนการแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย 500 เท่า หลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

### 3.5.1 ก่อนการแช่เยือกแข็ง

จากการทดลองตรวจสอบโครงสร้างเจลแข็งหมักปกติ เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ก่อนการแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย 500 เท่า ปรากฏว่า โครงสร้างของเจลแข็งหมักปกติ มีรูพรุนจำนวนมาก ขนาดของรูพรุนใกล้เคียงกับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมกัวร์ ส่วนกัมซีเอ็มซีมีโครงสร้างของเจลละเอียดมากกว่าเจลชนิดอื่น ทั้งนี้เกิดจากการผสมกัมซีเอ็มซีอาจกระจายตัวเป็นโครงสร้างตาข่ายยึดภายในโครงสร้างเนื้อเจลแข็งหมัก ทำให้เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เห็นเป็นโครงสร้างละเอียดมากกว่าเจลแข็งหมักปกติ

### 3.5.2 รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

จากการทดลองตรวจสอบโครงสร้างเจลแข็งหมักปกติ เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า ปรากฏว่า เจลแข็งทุกชนิดมีรูพรุนใหญ่ขึ้นกว่าก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแข็งหมักปกติมีรูพรุนใหญ่กว่าเจลแข็งชนิดอื่นๆ และภายในโครงสร้างเจลไม่พบโครงร่างตาข่าย ขณะที่เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์มีโครงร่างตาข่ายยึดกระจายอยู่ภายในโครงสร้างเจล เกิดจากเมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น น้ำอิสระแยกออกจากโมเลกุลสตาร์ชภายในเจลแข็ง และเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ด้วยกัน เมื่อแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ด้วยเมื่อทำให้เจลแห้ง จึงปรากฏโครงร่างตาข่ายซึ่งยึดเกาะขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของสายแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน จับกับน้ำอิสระภายในเจล ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และการสูญเสียภายในเจล สอดคล้องกับผลการทดลองของ Lee *et al.* (2002) ตรวจสอบโครงสร้างเจลแข็งมันฝรั่งผสมแซนแทน และกัมซีเอ็มซี ได้ผลว่ามีโครงร่างตาข่ายเกิดขึ้นภายในเนื้อเจล โครงสร้างตาข่ายดังกล่าวอาจมีส่วนช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และลดการสูญเสียได้

#### 4. หาปริมาณกัม และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

##### 4.1 ผลการหาปริมาณกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีน

ผลการหาปริมาณกัมที่เหมาะสมทำได้โดยการผลิตขนมจีน 4 ชนิดคือ ขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ที่ระดับความเข้มข้นของกัมแต่ละชนิดร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกปริมาณกัม

##### 4.1.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

###### ก. กัมแซนแทน

ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 13.76 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทนร้อยละ 0.1 (14.72 กรัม), 0.3 (15.84 กรัม) และ 0.5 (17.80 กรัม) ทั้งสามมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติ แสดงดังตารางที่ 27

ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น 9.09 น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (12.05), 0.3 (14.50) และ 0.5 (16.27) ทั้งสามมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติ

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 15 สูตร  
ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5<sup>1/</sup>

| ขนมจีนสูตรที่ <sup>2/</sup> | ค่าเนื้อสัมผัส       |              |
|-----------------------------|----------------------|--------------|
|                             | ความแน่นเนื้อ (กรัม) | ความยืดหยุ่น |
| 1                           | 13.76±0.73d          | 9.09±0.70d   |
| 7                           | 14.72±1.33c          | 12.05±0.70c  |
| 8                           | 15.84±0.81b          | 14.50±0.87b  |
| 9                           | 17.80±0.94a          | 16.27±0.61a  |
| 1                           | 12.11±0.84d          | 8.94±0.65d   |
| 10                          | 13.59±1.10c          | 13.99±0.84c  |
| 11                          | 15.49±0.73b          | 16.38±0.67b  |
| 12                          | 16.14±0.72a          | 17.76±0.37a  |
| 1                           | 12.15±0.93d          | 8.96±0.57d   |
| 13                          | 14.29±0.83c          | 13.78±0.52c  |
| 14                          | 15.35±0.98b          | 16.17±0.71b  |
| 15                          | 17.16±0.90a          | 18.26±0.72a  |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> สูตรที่ 1 = ขนมจีนแป้งหมักปกติ  
สูตรที่ 7, 8 และ 9 = ขนมจีนผสมกับแซนแทน ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ  
สูตรที่ 10, 11 และ 12 = ขนมจีนผสมกับซีเอ็มซี ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ  
สูตรที่ 13, 14 และ 15 = ขนมจีนผสมกับกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ

ข. กัมซีเอ็มซี

ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 12.11 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกับร้อยละ 0.1 (13.59 กรัม), 0.3 (15.49 กรัม) และ 0.5 (16.14 กรัม) ทั้งสามมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติ

ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น 8.94 น้อยกว่า ขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (13.99), 0.3 (16.38) และ 0.5 (17.76) ทั้งสามมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติ

#### ค. กัมถั่ว

ความแน่นเนื้อ ขนมหินแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 12.15 กรัม น้อยกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (14.29 กรัม), 0.3 (15.35 กรัม) และ 0.5 (17.16 กรัม) ทั้งสามมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติ

ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น 8.96 น้อยกว่า ขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (13.78), 0.3 (16.17) และ 0.5 (18.26) ทั้งสามมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักปกติ

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินแป้งหมักผสมกัม ปรากฏว่า ขนมหินแป้งหมักผสมกัมมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัมที่เพิ่มขึ้น กัมที่เข้าจับกับน้ำ และแทรกอยู่ในเนื้อขนมหิน ทำให้ขนมหินมีเนื้อสัมผัสแน่นเนื้อมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักผสมกัมมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัมที่เพิ่มขึ้น เกิดจากกัมซึ่งมีโครงสร้างเป็นตาข่ายกระจายตัวในเส้นขนมหิน จับกับสายเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน ทำให้ขนมหินมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับผลการส่องดูเนื้อสัมผัสของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ปรากฏโครงร่างตาข่ายภายในเจลแป้งหมักผสมกัม อาจมีส่วนช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นภายในขนมหิน

#### 4.1.2 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมโดยใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน (ตารางที่ 28)

**ตารางที่ 28** เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตร

| ขนมจีนสูตรที่ <sup>2/</sup> | จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส <sup>1/</sup> |   |   |   |   |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|---|---|---|---|
|                             | 4                                                            | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1                           | -                                                            | - | 3 | 4 | 1 |
| 7                           | -                                                            | - | 4 | 4 | - |
| 8                           | -                                                            | - | 1 | 5 | 2 |
| 9                           | 5                                                            | 3 | - | - | - |
| 10                          | -                                                            | - | 1 | 7 | - |
| 11                          | -                                                            | - | - | 2 | 6 |
| 12                          | -                                                            | 4 | 4 | - | - |
| 13                          | -                                                            | - | 3 | 5 | - |
| 14                          | -                                                            | - | - | 5 | 3 |
| 15                          | 5                                                            | 3 | - | - | - |

**หมายเหตุ** <sup>1/</sup> คะแนน 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย คะแนน 5 = เฉยๆ คะแนน 6 = ชอบเล็กน้อย

คะแนน 7 = ชอบปานกลาง คะแนน 8 = ชอบมาก

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมจีนกับตารางที่ 27

ก. กัมแซนแทน

ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 4 คน และชอบมาก 1 คน เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 1 คน ชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 5 คน ชอบมาก 2 คน แต่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนลดลงเป็นไม่ชอบเล็กน้อย 5 คน เฉยๆ 3 คน

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ปรากฏว่า เมื่อผสมกัมแซนแทนในขนมหินร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินแป้งหมักผสมกัมมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากขนมหินมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นมากขึ้นกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และเมื่อปริมาณกัมแซนแทนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง ผู้ทดสอบอาจรู้สึกว่ขนมหินมีสมบัติด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปจากขนมหินแป้งหมักปกติ จึงเลือกการผสมกัมแซนแทนร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

#### ข. กัมซีเอ็มซี

ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักปกติชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 4 คน และชอบมาก 1 คน เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1 และ 0.3 ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 ชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 7 คน และขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.3 ชอบปานกลาง 2 คน ชอบมาก 6 คน แต่เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ขนมหินได้รับคะแนนลดลงเป็นไม่ชอบเล็กน้อย 4 คน เฉยๆ 4 คน

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ปรากฏว่า เมื่อผสมกัมซีเอ็มซีในขนมหินร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.3 มากกว่าขนมหินผสมกัมร้อยละ 0.1 และขนมหินแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากขนมหินมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณกัมซีเอ็มซีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง ผู้ทดสอบอาจรู้สึกว่ขนมหินมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปจากขนมหินแป้งหมักปกติ ทำคะแนนความชอบลดลง จึงเลือกการผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

#### ค. กัมกัวร์

ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักปกติชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 4 คน และชอบมาก 1 คน เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1 และ 0.3 ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 ชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง เพิ่มขึ้นเป็น 5 คน และ

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.3 ชอบปานกลาง 5 คน ชอบมาก 3 คน แต่เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ขนมจีนได้รับคะแนนลดลงเป็นไม่ชอบเล็กน้อย 5 คน เฉยๆ 3 คน

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกั้วร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ปรากฏว่า เมื่อผสมกัมกั้วในขนมจีนร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนผสมกัมร้อยละ 0.3 มากกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 และขนมจีนแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากขนมจีนมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นมากขึ้น และเมื่อปริมาณกัมกั้วเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง ผู้ทดสอบอาจรู้สึกว่ขนมจีนมีสมบัติด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ทำให้คะแนนความชอบลดลง จึงเลือกการผสมกัมกั้วร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

4.2 ผลการหาค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

เมื่อทดลองผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกั้ว แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด เป็น  $-40^{\circ}\text{C}$  นำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง และนำกลับแช่เยือกแข็งอีกครั้งในตู้แช่เยือกแข็ง  $-18^{\circ}\text{C}$  จำนวน 1, 3 และ 5 รอบ ผลการทดสอบขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น และทดสอบความแข็ง และความชอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ปรากฏว่า

#### 4.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

##### ก. ผลความแน่นเนื้อ

จากการตรวจสอบความแน่นเนื้อของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกั้ว ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด แสดงดังตารางที่ 29

**ตารางที่ 29** เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะต่างกัน 4 สูตร แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด<sup>1/</sup>

| ขนมจีน<br>สูตรที่ <sup>2/</sup> | ก่อนการแช่<br>เยือกแข็ง | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 |                           | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 |                           | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 |                           |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                                 |                         | ไครโอเจนิค                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | ไครโอเจนิค                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | ไครโอเจนิค                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด |
| 1                               | 12.42±0.74c             | 25.81±1.23a                   | 27.14±1.23a               | 30.65±1.21a                   | 36.65±0.83a               | 37.75±1.03a                   | 47.25±0.60a               |
| 8                               | 14.07±0.58b             | 21.61±1.17b                   | 23.78±1.39b               | 25.69±1.32c                   | 25.86±1.04c               | 33.19±1.05c                   | 33.68±0.81b               |
| 11                              | 14.88±0.79ab            | 18.45±1.22c                   | 22.78±0.87c               | 22.98±1.31d                   | 23.48±1.18d               | 30.86±1.19d                   | 31.19±1.29c               |
| 14                              | 15.44±1.03a             | 21.79±0.85b                   | 24.95±1.08b               | 28.48±1.70b                   | 29.14±0.96b               | 35.14±0.62b                   | 36.32±0.65b               |

**หมายเหตุ**

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> สูตรที่ 1 คือ ขนมจีนแป้งหมักปกติ  
สูตรที่ 8 คือ ขนมจีนผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.3  
สูตรที่ 11 คือ ขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3  
สูตรที่ 14 คือ ขนมจีนผสมกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมหินเป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 12.42 กรัม น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (14.07 กรัม) กัมซีเอ็มซี (14.88 กรัม) และกัมกัวร์ (15.44 กรัม) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่แตกต่างกับกัมกัวร์ ขณะที่ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ขนมหินเป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากกัมสามารถช่วยยึดโครงสร้างภายในเส้นขนมหิน จับกับสสารซึ่งผ่านการเกิดเจลลาทีไนซ์ในขนมหิน ทำให้ขนมหินมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น

## 2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมหินเป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 25.81 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (21.61 กรัม) กัมซีเอ็มซี (18.45 กรัม) และกัมกัวร์ (21.79 กรัม) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่ไม่แตกต่างกับกัมกัวร์ ขณะที่ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมกัวร์

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินเป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 27.14 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (23.78 กรัม) กัมซีเอ็มซี (22.78 กรัม) และกัมกัวร์ (24.95 กรัม) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมกัวร์ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมกัวร์

## 3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมหินเป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 30.65 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน

(25.69 กรัม) กัมซีเอ็มซี (22.98 กรัม) และกัมกัวร์ (28.48 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน มีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 36.65 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (25.86 กรัม) กัมซีเอ็มซี (23.48 กรัม) และกัมกัวร์ (29.14 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี และแต่น้อยกว่ากัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

#### 4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 37.75 กรัม มากกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (33.19 กรัม) กัมซีเอ็มซี (30.86 กรัม) และกัมกัวร์ (35.14 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 47.25 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (33.68 กรัม) กัมซีเอ็มซี (31.19 กรัม) และกัมกัวร์ (36.32 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อของขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินแป้งหมักผสมกัมแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ปรากฏว่า ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อก่อนการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และมากกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัม สอดคล้องกับผลการตรวจสอบความแน่นเนื้อของเจลแป้งหมักผสมกัม ในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนียน้อยที่สุด รองลงมาเป็นการผสมกัมแซนแทน และสุดท้ายเป็นกัมกัวร์ เมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนียนของ ขนมจีนแป้งหมักปกติเพิ่มขึ้น เกิดจากขนมจีนเกิดรีโทรเกรดระหว่างการคืนรูปจากเยือกแข็ง ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมมีความแน่นเนียน้อยลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ เกิดจากกัมที่ผสม ลงไปขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของโมเลกุลสตาร์ช การเกิดรีโทรเกรดน้อย จึงส่งผลให้ความ แน่นเนียนลดลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัส แผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกมีความแน่นเนียน้อยกว่า แบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง ทั้งนี้เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิกสามารถทำให้ขนมจีนถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้เกิด รีโทรเกรดได้น้อย และยังสามารถรักษาน้ำสัมผัสขนมจีนได้ดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

#### ข. ผลความยืดหยุ่น

จากการตรวจสอบความยืดหยุ่นของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีน แป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากการ แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด แสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขมจินลักษณะต่างกัน 4 สูตรแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด<sup>1/</sup>

162

| ขมจิน<br>สูตรที่ <sup>2/</sup> | ก่อนการแช่<br>เยือกแข็ง | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 |                           | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 |                           | รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 |                           |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                                |                         | ไครโอเจนิก                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | ไครโอเจนิก                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด | ไครโอเจนิก                    | สัมผัสแผ่น<br>โลหะเย็นจัด |
| 1                              | 9.04±0.82b              | 6.49±0.48b                    | 5.60±0.48b                | 3.41±0.42c                    | 2.70±0.42b                | 1.25±0.39c                    | 0.94±0.39c                |
| 7                              | 12.45±1.38a             | 8.61±0.69a                    | 7.71±0.69a                | 5.68±0.57a                    | 6.21±0.57a                | 2.56±0.50b                    | 2.64±0.50b                |
| 8                              | 12.39±1.08a             | 8.87±0.60a                    | 7.07±0.60a                | 6.05±0.69a                    | 6.15±0.69a                | 4.03±0.52a                    | 4.09±0.52a                |
| 4                              | 11.92±0.88a             | 8.52±0.56a                    | 7.79±0.53a                | 4.31±0.68b                    | 4.31±0.68b                | 2.41±0.49b                    | 2.70±0.49b                |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ  
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขมจินเหมือนกับตารางที่ 29

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 9.04 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (12.45) กัมซีเอ็มซี (12.39) และกัมกัวร์ (11.92) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมทั้ง 3 ชนิดมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ เนื่องจากกัมสามารถช่วยยึดโครงสร้างสตาซภายในขนมหินทำให้ขนมหินเป้งหมักผสมกัมมีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินเป้งหมักปกติ

## 2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 6.49 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (8.61) กัมซีเอ็มซี (8.87) และกัมกัวร์ (8.52) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมทั้ง 3 ชนิดมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 5.60 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (7.71) กัมซีเอ็มซี (7.07) และกัมกัวร์ (7.79) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมทั้ง 3 ชนิดมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

## 3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 3.41 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (5.68) กัมซีเอ็มซี (6.05) และกัมกัวร์ (4.31) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมกัวร์



เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมนมเงินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง ทั้งนี้เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถทำให้ขนมนมเงินถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้เกิดรีโทรเกรดได้น้อย และยังสามารถรักษาเนื้อสัมผัสขนมนมเงินได้ดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้ขนมนมเงินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสโลหะเย็นจัด

#### 4.2.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ขนมนมเงินแป้งหมักปกติ และขนมนมเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ทดสอบความเข้ม และความชอบทางประสาทสัมผัส

##### ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น ความชุ่ม ใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

##### 1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง

จากการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมนมเงินแป้งหมักปกติ และขนมนมเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ก่อนการแช่เยือกแข็ง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขมจิ้นลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร  
ก่อนการแช่เยือกแข็ง<sup>1/</sup>

| ขมจิ้นสูตรที่ <sup>2/</sup> | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส |               |              |             |
|-----------------------------|------------------------------|---------------|--------------|-------------|
|                             | ความเรียบ                    | ความแน่นเนื้อ | ความยืดหยุ่น | ความชุ่ม    |
| 1                           | 9.44±0.33a                   | 8.43±0.36a    | 11.50±0.33c  | 10.01±0.40a |
| 8                           | 9.71±0.45a                   | 8.73±0.42a    | 12.54±0.49b  | 10.24±0.45a |
| 11                          | 9.46±0.27a                   | 8.76±0.53a    | 13.05±0.41a  | 10.34±0.30a |
| 14                          | 9.71±0.45a                   | 8.73±0.42a    | 12.28±0.51b  | 10.24±0.45a |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ  
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขมจิ้นเหมือนกับตารางที่ 29

ขมจิ้นแป้งหมักปกติ และขมจิ้นแป้งหมักผสมก็มีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบเป็น 9.44 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกับแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 9.71, 9.46 และ 9.71 คะแนนตามลำดับ ความแน่นเนื้อ ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 8.43 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกับแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 8.73, 8.76 และ 8.73 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 11.50 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกับแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความเข้ม 12.54, 13.05 และ 12.28 คะแนน ตามลำดับ ขมจิ้นแป้งหมักผสมกับแซนแทน และกัมกัวร์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ทั้งสองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกับกัมซีเอ็มซี ความชุ่ม ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 10.01 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกับแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 10.24, 10.34 และ 10.24 คะแนนตามลำดับ

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มข้นของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน ก่อนการแช่เยือกแข็ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ด้านความยืดหยุ่น น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม อาจเกิดจาก ก่อนการแช่เยือกแข็ง น้ำมันปาล์มเกิดริ้วรอยเล็กน้อย ทำให้ผู้ทดสอบไม่เห็นความแตกต่างของน้ำมันปาล์ม ด้านความเรียบความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้น แต่ด้านความยืดหยุ่น การผสมกับไขมันช่วยให้ไขมันมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบรู้สึกได้ถึงถึงความแตกต่างของไขมัน

## 2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค น้ำมันปาล์มแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค มีความเข้มข้นทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความเรียบเป็น 8.50 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีคะแนนเป็น 9.40, 9.25 และ 9.48 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นด้านความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน มีความเข้มข้นด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.53 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีคะแนนเป็น 10.33, 10.46 และ 10.61 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความยืดหยุ่น น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความยืดหยุ่นเป็น 10.51 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม มีความเข้มข้นด้านความเข้มข้นเป็น 11.35, 11.19 และ 11.06 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่มชื้น น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความชุ่มชื้นเป็น 12.24 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม มีความเข้มข้นเป็น 10.96, 10.38 และ 10.43 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นด้านความชุ่มชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มประสาทสัมผัสขนมเงินลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร แซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5<sup>1/</sup>

| รอบ<br>ที่ | ขนมเงิน<br>สูตรที่ <sup>2/</sup> | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมเงินแซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค |               |              |             | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมเงินแซ่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะ<br>เย็นจัด |               |              |             |
|------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|
|            |                                  | ความเรียบ                                                    | ความแน่นเนื้อ | ความยืดหยุ่น | ความชุ่ม    | ความเรียบ                                                                   | ความแน่นเนื้อ | ความยืดหยุ่น | ความชุ่ม    |
| 1          | 1                                | 8.50±0.53b                                                   | 11.53±0.41b   | 10.51±0.28b  | 12.24±0.35a | 8.53±0.43b                                                                  | 10.86±0.53a   | 9.86±0.32b   | 12.35±0.27a |
|            | 8                                | 9.40±0.64a                                                   | 10.33±0.43a   | 11.35±0.44a  | 10.96±0.42b | 9.69±0.60a                                                                  | 9.10±0.36c    | 11.05±0.62a  | 10.19±0.61b |
|            | 11                               | 9.25±0.24a                                                   | 10.46±0.39a   | 11.19±0.43a  | 10.38±0.52b | 9.32±0.21a                                                                  | 9.24±0.25c    | 11.39±0.34a  | 10.38±0.52b |
|            | 14                               | 9.48±0.39a                                                   | 10.61±0.39a   | 11.06±0.48a  | 10.43±0.63b | 9.40±0.56a                                                                  | 10.52±0.37b   | 10.94±0.42a  | 10.50±0.65b |
| 3          | 1                                | 6.70±0.63c                                                   | 12.40±0.39a   | 8.93±0.47c   | 12.48±0.34a | 6.83±0.57c                                                                  | 12.50±0.25a   | 7.59±0.56b   | 12.68±0.34a |
|            | 8                                | 7.75±0.46b                                                   | 10.91±0.36bc  | 10.71±0.26a  | 11.65±0.55b | 8.26±0.52b                                                                  | 10.89±0.68b   | 9.13±0.46a   | 10.76±0.56b |
|            | 11                               | 8.94±0.26a                                                   | 10.73±0.57c   | 9.68±0.44b   | 11.00±0.56c | 8.91±0.26a                                                                  | 10.75±0.57b   | 9.26±0.41a   | 10.50±0.38b |
|            | 14                               | 8.66±0.51a                                                   | 11.35±0.45b   | 9.61±0.44b   | 10.78±0.36c | 8.59±0.52ab                                                                 | 10.96±0.52b   | 9.51±0.36a   | 10.36±0.36b |
| 5          | 1                                | 6.06±0.33b                                                   | 12.64±0.52a   | 8.20±0.79b   | 13.53±0.38a | 7.30±0.45b                                                                  | 13.05±0.33a   | 8.54±0.44c   | 12.38±0.39a |
|            | 8                                | 7.19±1.06a                                                   | 11.15±0.39b   | 9.20±0.68a   | 11.38±0.44b | 7.75±0.75a                                                                  | 12.44±0.40b   | 8.05±0.23b   | 11.25±0.48b |
|            | 11                               | 7.79±0.17a                                                   | 10.81±0.15b   | 9.53±0.23a   | 10.93±0.48c | 7.70±0.15a                                                                  | 10.70±0.33c   | 9.56±0.42a   | 10.93±0.63c |
|            | 14                               | 7.66±0.58a                                                   | 11.35±0.70b   | 8.04±0.40b   | 11.54±0.65b | 7.81±0.52a                                                                  | 11.76±0.37c   | 8.05±0.39b   | 11.50±0.81b |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมเงินเหมือนกับตารางที่ 29

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำเงินแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบเป็น 8.53 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 9.69, 9.32 และ 9.40 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดมีคะแนนด้านความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติ มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.53 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 9.10, 9.24 และ 10.52 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเข้มด้านความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับการผสมกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 9.86 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความยืดหยุ่นเป็น 11.05, 11.39 และ 10.94 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่ม ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 12.35 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 10.19, 10.38 และ 10.50 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดมีคะแนนด้านความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 ขนมน้ำเงินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมน้ำเงินด้านต่างๆดังนี้ ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัม และมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มมากกว่าขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัม ทั้งนี้อาจเกิดจากการแช่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็งขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติเกิดรีโทรเกรดทำให้ขนมน้ำเงินมีความเข้มด้านความเรียบลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มมากขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง แตกต่างกับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัม กัมที่กระจายตัวอยู่ในเส้นขนมน้ำเงินมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย ช่วยขัดขวางการเกิดรีโทรเกรด

### 3) รอบการคืนรูปจากเชือกแข็งที่ 3

การแช่เชือกแข็งแบบโครโอเจนิค ขนมหินแช่เชือกแข็งแบบโครโอเจนิคมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 6.70 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 7.75, 8.94 และ 8.66 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และมีความเข้มด้านความเรียบมากกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน ความแน่นเนื้อ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 12.40 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 10.91, 10.73 และ 11.35 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักปกติผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แต่ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ความยืดหยุ่น ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 8.93 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความยืดหยุ่น 10.71, 9.68 และ 9.61 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นมากกว่ากัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความขุ่น ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความขุ่นเป็น 12.48 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 11.65, 11.00 และ 10.78 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนความขุ่นมากกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การแช่เชือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแช่เชือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบเป็น 6.83 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติกับ ( $p \leq 0.05$ ) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 8.26, 8.91 และ 8.59 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ขณะที่ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ ขนมหินเป้งหมักปกติมี

คะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 12.50 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 10.89, 10.75 และ 10.96 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักปกติผสมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 7.59 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 9.13, 9.26 และ 9.51 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่มด้านความชุ่มเป็น 12.68 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 10.76, 10.50 และ 10.36 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมจีนด้านต่างๆดังนี้ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความชุ่มด้านความเรียบ ความยืดหยุ่นน้อยลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มมากขึ้นกว่า แป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากเมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งมากขึ้น ขนมจีนเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมจีนแป้งหมักปกติจึงมีสมบัติเปลี่ยนแปลงและเมื่อผสมกัมในขนมจีน ขนมจีนผสมกัมมีสมบัติด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

#### 4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคมีคะแนนความชุ่มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่มด้านความเรียบเป็น 6.06 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 7.19, 7.79 และ 7.66 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 12.64 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 11.15, 10.81 และ 11.35 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี

และกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 8.20 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (9.20 คะแนน) และกัมซีเอ็มซี (9.53 คะแนน) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมกัวร์มีคะแนนเป็น 8.04 คะแนน ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับกัมซีเอ็มซี ความชุ่ม ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 13.53 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 11.38, 10.93 และ 11.54 คะแนนตามลำดับ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมกัวร์ และทั้งสองมีคะแนนด้านความชุ่มมากกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 7.30 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 7.75, 7.70 และ 7.81 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ ขนมหินแป้งหมักปกติ มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 13.05 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 12.44, 10.70 และ 11.76 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 8.54 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความเข้ม 8.05, 9.56 และ 8.05 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเข้มด้านความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับกัมกัวร์ ( $p > 0.05$ ) ความชุ่ม ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 12.38 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 11.25, 10.93 และ 11.50 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกัมกัวร์ แต่การผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความชุ่มน้อยที่สุด

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมหินด้านต่างๆดังนี้ ขนมหินแข็งหมักปกติมีคะแนนความแข็งด้านความเรียบ ความยืดหยุ่นน้อยลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นกว่าขนมหินแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากเมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มมากขึ้น ขนมหินแข็งหมักปกติเกิดรีโทรเกรดเพิ่มขึ้น จึงมีความเรียบเปลี่ยนแปลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง เมื่อผสมกัมสามารถลดการเกิดรีโทรเกรด ขนมหินแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์จึงความแข็งด้านความเรียบ และความชุ่มชื้นมากกว่า และความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นน้อยกว่าขนมหินแข็งหมักปกติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ขนมหินแข็งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนแข็งด้านความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด เช่นเดียวกัน รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 ขนมหินแข็งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถแช่เยือกแข็งขนมหินได้ถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด จึงทำให้เกิดรีโทรเกรดน้อย และรักษาเนื้อสัมผัสขนมหินได้ดีกว่าขนมหินแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

#### ข. ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความชอบด้านความชอบรวม ของขนมหินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน แสดงดังตารางที่ 33

**ตารางที่ 33** เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตรแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5

174

| รอบที่ | ขนมจีน<br>สูตรที่ <sup>1/</sup> | จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส <sup>2/</sup> |   |   |   |   |   |                                            |   |   |   |   |   |
|--------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|--------------------------------------------|---|---|---|---|---|
|        |                                 | ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค                              |   |   |   |   |   | ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด |   |   |   |   |   |
|        |                                 | 3                                                            | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 3                                          | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1      | 1                               | -                                                            | - | - | 3 | 5 | - | -                                          | - | - | 4 | 4 | - |
|        | 8                               | -                                                            | - | - | 2 | 5 | 1 | -                                          | - | - | 2 | 5 | 1 |
|        | 11                              | -                                                            | - | - | - | 6 | 2 | -                                          | - | - | - | 6 | 2 |
|        | 14                              | -                                                            | - | - | 1 | 7 | - | -                                          | - | - | 2 | 6 | - |
| 5      | 1                               | 1                                                            | 6 | 1 | - | - | - | 2                                          | 6 | - | - | - | - |
|        | 8                               | -                                                            | - | 5 | 3 | - | - | -                                          | - | 6 | 2 | - | - |
|        | 11                              | -                                                            | - | - | 2 | 6 | - | -                                          | - | - | 2 | 6 | - |
|        | 14                              | -                                                            | 1 | 5 | 2 | - | - | -                                          | 3 | 5 | - | - | - |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 29

<sup>2/</sup> คะแนน 3=ไม่ชอบปานกลาง, คะแนน 4=ไม่ชอบเล็กน้อย, คะแนน 5=เฉยๆ, คะแนน 6=ชอบเล็กน้อย,  
คะแนน 7=ชอบปานกลาง, คะแนน 8=ชอบมาก

### 1) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 1

การแซ่เยือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติ ชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 5 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 5 คน ชอบมาก 1 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบปานกลาง 6 คน ชอบมาก 2 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 1 คน ชอบปานกลาง 7 คน ไม่มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบมาก

การแซ่เยือกเงี่ยงแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติ ชอบเล็กน้อย 4 คน ชอบปานกลาง 4 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 5 คน ชอบมาก 1 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบปานกลาง 6 คน ชอบมาก 2 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน ไม่มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบมาก

จากรอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 1 ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชอบรวมน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากขนมจีนแป้งหมักปกติเกิดรีโทรเกรด ทำให้เนื้อสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ผู้ทดสอบจึงให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับคะแนนชอบมากกว่าขนมจีนตัวอย่างอื่น สอดคล้องกับผลการตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีน

### 2) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 5

การแซ่เยือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 6 คน และเฉยๆ 1 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนเฉยๆ 5 คน ชอบเล็กน้อย 3 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง

6 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย 1 คน เฉยๆ 5 คน ชอบเล็กน้อย 2 คน

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติไม่ชอบปานกลาง 2 คน และไม่ชอบเล็กน้อย 6 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนเฉยๆ 6 คน ชอบเล็กน้อย 2 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย 3 คน และเฉยๆ 5 คน

จากรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชอบรวมลดลงอยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ เกิดจากการเกิดรีโทรเกรด ส่งผลให้เนื้อสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติเปลี่ยนแปลง สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส และความเข้มทางประสาทสัมผัสของขนมจีนแป้งหมักปกติ คือมีความแน่นนุ่มมากขึ้น และความยืดหยุ่นลดลง ขณะที่การผสมกัมในขนมจีนช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด ช่วยให้ขนมจีนมีความคงทนต่อการเกิดรีโทรเกรด ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความชอบมากที่สุดในทุกด้าน โดยมีคะแนนความชอบในทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ขนมจีนแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนความชอบมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคเป็นการแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่าแบบสัมผัสโลหะเย็นจัด ทำให้เกิดรีโทรเกรดน้อย รักษาเนื้อสัมผัสโครงสร้างขนมจีนได้ดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

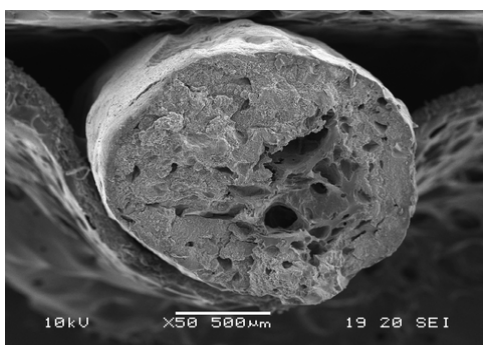
### 4.3 การตรวจสอบโครงสร้างขนมจีน

จากการตรวจสอบโครงสร้างของขนมจีนเป้งหมักปกติ และขนมจีนเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แสดงดังภาพที่ 29 ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนเป้งหมักปกติมีโครงสร้างค่อนข้างแน่น มีรูพรุนเล็กน้อย ขณะที่ขนมจีนเป้งหมักผสมแซนแทน และกัมซีเอ็มซี มีโครงสร้างแน่นมีรูพรุนน้อยมาก เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมจีนเป้งหมักปกติมีรูพรุนเกิดขึ้นจำนวนมาก และมีขนาดใหญ่ อาจเกิดจากการเกิดรีโทรเกรดระหว่างคั้นรูป และแช่เยือกแข็งอีกครั้ง โดยเมื่อคั้นรูปขนมจีนจากเยือกแข็ง น้ำอิสระเคลื่อนเข้าหากัน แอมิโลส และ แอมิโลเพกทินเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้นจับกันเป็นร่างแห แทนการจับกับน้ำทำให้ขนมจีนมีรูพรุนขนาดใหญ่ดังภาพ ส่งผลให้ความยืดหยุ่นของขนมจีนลดลง ขณะที่ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมกัวร์มีรูพรุนเกิดขึ้นมากกว่าก่อนการแช่เยือกแข็ง แต่น้อยกว่าขนมจีนเป้งหมักปกติ ขณะที่ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีรูพรุนเกิดขึ้นเช่นกัน แต่เป็นรูขนาดเล็กมากกระจายในโครงสร้างขนมจีนอาจเป็นสาเหตุให้ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าขนมจีนชนิดอื่น และเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ สาเหตุที่ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าขนมจีนเป้งหมักปกติ ทั้งนี้อาจเกิดจากร่างแหของกัมที่กระจายภายในขนมจีนขัดขวางการเคลื่อนที่บีบกันของสายแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน นอกจากนี้กัมยังมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ทำให้เมื่อแช่เยือกแข็งสามารถช่วยลดการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายในขนมจีนได้ ส่งผลให้ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าขนมจีนเป้งหมักปกติ

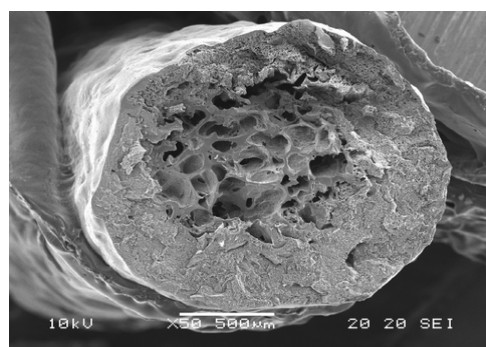
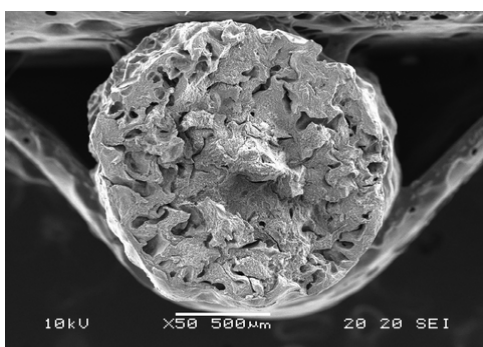
ก่อนแช่เยือกแข็ง

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

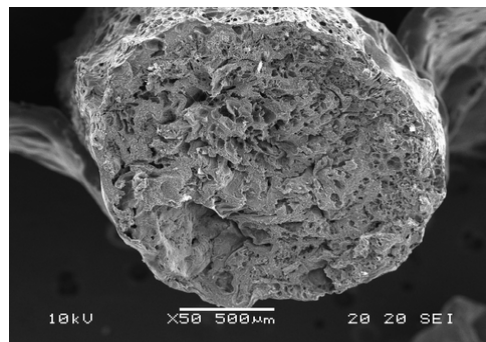
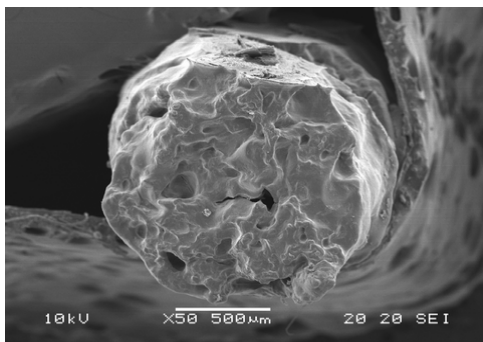
1



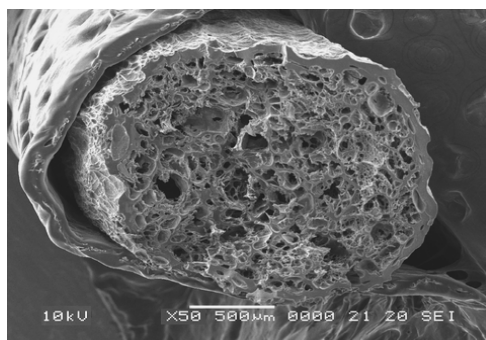
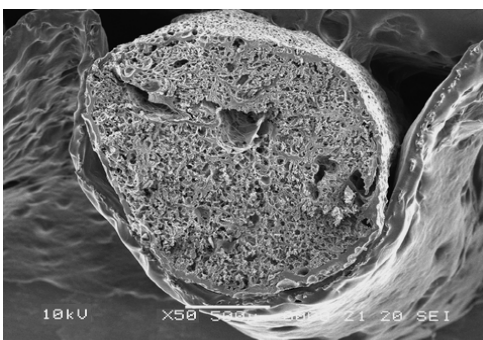
8



11



14



ภาพที่ 29 โครงสร้างขมจีนแป้งหมักปกติ (สูตรที่ 1) และขมจีนแป้งหมักผสมกับร้อยละ 0.3 คือ แซนแทน (สูตรที่ 8) และกัมซีเอ็มซี (สูตรที่ 11) และกัมกัวร์ (สูตรที่ 14) กำลังขยาย 50 เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจ้ดรอบที่ 5

เมื่อพิจารณาผลของการผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3 ในการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดให้ผลคล้ายคลึงกัน จึงพิจารณาเพื่อคัดเลือกเลือกขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้ดังนี้

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นก่อนการแช่เยือกแข็งมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติในทุกรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็ง เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเรียบ ความแน่นเนื้อ และความชุ่มไม่แตกต่างกับขนมจีนแป้งหมักปกติ แต่มีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี มีคะแนนความเรียบ และความยืดหยุ่นมาก ความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติในทุกรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็ง เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมากกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมกัวร์ และขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 มีค่าความแน่นเนื้อน้อย และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความเหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

## 5. ผลการตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมจีนพร้อมบริโภคน้ำแข็งเยือกแข็ง

เมื่อผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคจนมีอุณหภูมิเป็น -50 องศาเซลเซียส เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน และ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน

### 5.1 การเก็บรักษาขนมจีนพร้อมบริโภคน้ำแข็งเยือกแข็ง อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน

ผลการตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และทดสอบความชื้น และความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแคงเจียวหวานไก่

#### 5.1.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

##### ก. ผลความแน่นเนื้อ

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 14.81 กรัม ไม่แตกต่างกับวันที่ 2 มีความแน่นเนื้อ 21.22 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 28.43 และ 42.60 กรัม (ตารางที่ 34)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้นมีค่าความแน่นเนื้อ 19.32 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 วันมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 22.32, 24.42, 27.17, 34.48 และ 42.17 กรัม

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้น มีค่าความแน่นเนื้อเป็น 16.18 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วันมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติเป็น ( $p \leq 0.05$ ) 18.97, 27.05, 29.95, 33.70, 37.35 และ 43.04 กรัม

### ข. ผลความยืดหยุ่น

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่น 8.88 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 6.42, 3.87 และ 0.92 (ตารางที่ 34)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้นมีค่าความยืดหยุ่น 8.23 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 วันมีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 6.88, 4.83, 4.05, 3.77 และ 2.62

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้นมีค่าความยืดหยุ่นเป็น 11.50 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วันมีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 10.82, 9.35, 7.85, 8.02, 7.28 และ 4.45 วันที่ 6 และ 10 มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ระหว่างการเก็บรักษา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ขนมจีนทั้งสามชนิดมีการเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสดังนี้ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 14.81 กรัม และ 8.88 วันที่ 6 เป็น 42.60 กรัม และ 0.92 ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 19.32 กรัม และ 8.23 วันที่ 10 เป็น 42.17 กรัม และ 2.62 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้นเป็น 16.18 กรัม และ 11.50 วันที่ 12 เป็น 43.04 กรัม และ 4.45

**ตารางที่ 34** เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยะแข็งแบบโครโอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12<sup>1/</sup>

| สูตร<br>ที่ <sup>2/</sup> | ค่าเนื้อสัมผัส | ค่าเนื้อสัมผัสระหว่างเก็บรักษา(วัน) |              |              |             |             |             |             |
|---------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                           |                | วันเริ่มต้น                         | วันที่ 2     | วันที่ 4     | วันที่ 6    | วันที่ 8    | วันที่ 10   | วันที่ 12   |
| 1                         | ความแน่นเนื้อ  | 14.81±0.61c                         | 21.22±0.97bc | 28.43±12.37b | 42.60±0.97a | *           | *           | *           |
|                           | ความยืดหยุ่น   | 8.88±0.28a                          | 6.42±0.33b   | 3.87±0.43c   | 0.92±0.17d  | *           | *           | *           |
| 5                         | ความแน่นเนื้อ  | 19.32±0.59f                         | 22.32±0.27e  | 24.42±0.72d  | 27.17±0.31c | 34.48±1.15b | 42.17±0.75a | *           |
|                           | ความยืดหยุ่น   | 8.23±0.34a                          | 6.88±0.66b   | 4.83±0.39c   | 4.05±0.16d  | 3.77±0.33d  | 2.62±0.50e  | *           |
| 11                        | ความแน่นเนื้อ  | 16.18±0.41g                         | 18.97±0.69f  | 27.05±0.62e  | 29.95±0.66d | 33.70±0.75c | 37.35±0.71b | 43.04±1.30a |
|                           | ความยืดหยุ่น   | 11.50±0.66a                         | 10.82±0.26b  | 9.35±0.58c   | 7.85±0.54de | 8.02±0.60d  | 7.28±0.51e  | 4.45±0.44f  |

**หมายเหตุ** <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> สูตรที่ 1 คือ ขนมจีนแป้งหมักปกติ, สูตรที่ 5 คือ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40, สูตรที่ 11 คือ ขนมจีนผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

\* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจีนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

### 5.1.2 ผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความเข้ม และการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแรงเคี้ยวหวานไ้ระหว่างการเก็บรักษา

#### ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบความเข้มด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น ความชุ่มของขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 แสดงดังตารางที่ 35

**ตารางที่ 35** เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขมจืดต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบโคร โอะเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ  
วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12<sup>1/</sup>

| สูตรที่ <sup>2/</sup> | ความเข้ม      | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส |             |             |             |             |             |             |
|-----------------------|---------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                       |               | วันเริ่มต้น                  | วันที่ 2    | วันที่ 4    | วันที่ 6    | วันที่ 8    | วันที่ 10   | วันที่ 12   |
| 1                     | ความเรียบ     | 9.59±0.30a                   | 9.09±0.17b  | 8.29±0.39c  | 6.86±0.39d  | *           | *           | *           |
|                       | ความแน่นเนื้อ | 10.60±0.28b                  | 11.26±0.19b | 11.96±3.69b | 13.14±0.25a | *           | *           | *           |
|                       | ความยืดหยุ่น  | 12.89±0.11a                  | 11.19±0.41b | 10.69±0.24c | 7.91±0.48d  | *           | *           | *           |
|                       | ความชุ่ม      | 10.58±0.33c                  | 11.35±0.38c | 12.06±0.19b | 13.43±0.37a | *           | *           | *           |
| 5                     | ความเรียบ     | 9.80±0.29a                   | 9.69±0.22a  | 9.66±0.23a  | 8.99±0.19b  | 8.08±0.12c  | 7.09±0.20d  | *           |
|                       | ความแน่นเนื้อ | 11.43±0.32c                  | 11.41±0.32c | 11.46±0.32c | 11.93±0.44b | 12.18±0.38b | 13.28±0.28a | *           |
|                       | ความยืดหยุ่น  | 12.25±0.28a                  | 12.15±0.23a | 11.54±0.25b | 10.94±0.39c | 9.35±0.35d  | 7.90±0.37e  | *           |
|                       | ความชุ่ม      | 10.55±0.42d                  | 10.49±0.36d | 11.04±0.36d | 11.43±0.32c | 12.55±0.28b | 13.38±0.32a | *           |
| 11                    | ความเรียบ     | 10.59±0.42a                  | 10.63±0.30a | 10.40±0.19a | 9.98±0.28b  | 9.23±0.28c  | 8.23±0.31e  | 7.23±0.32f  |
|                       | ความแน่นเนื้อ | 10.76±0.18f                  | 10.80±0.19f | 11.63±0.34e | 11.85±0.13d | 12.14±0.18c | 12.63±0.23b | 13.19±0.30a |
|                       | ความยืดหยุ่น  | 13.09±0.32a                  | 12.94±0.35a | 11.18±0.35b | 10.96±0.30b | 9.51±0.18c  | 9.05±0.26d  | 8.01±0.29e  |
|                       | ความชุ่ม      | 10.89±0.11e                  | 10.81±0.12e | 10.90±0.13e | 11.20±0.50d | 11.75±0.34c | 12.50±0.32b | 13.24±0.32a |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 34

\* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจีนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

### 1) ขนมหินเป้งหมักปกติ

วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบเป็น 9.59 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 9.09, 8.29 และ 6.86 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.60 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.26, 11.96 และ 13.14 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 12.89 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.19, 10.69 และ 7.91 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.58 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.35, 12.06 และ 13.43 คะแนน ตามลำดับ

### 2) ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40

วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความเรียบเป็น 9.80 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 2 และ 4 เป็น 9.69 และ 9.66 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8 และ 10 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 8.99, 8.08 และ 7.09 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.43 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 2 และ 4 เป็น 11.41 และ 11.46 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6 และ 8 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับวันที่ 4 เป็น 11.93 และ 12.18 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6 และ 8 มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 10 วัน คะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 13.28 คะแนน ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 12.25 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 2 เป็น 12.15 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4, 6, 8 และ 10 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบ

ผลานเนื้อหามีคะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.54, 10.94, 9.35 และ 7.90 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อหามีคะแนนเป็น 10.55 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2 และ 4 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เป็น 10.49 และ 11.04 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6, 8 และ 10 มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.43, 12.55 และ 13.38 คะแนน ตามลำดับ

### 3) ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 10.59 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 2 และ 4 เป็น 10.63 และ 10.40 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8, 10 และ 12 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 9.98, 9.23, 8.23 และ 7.23 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 10.76 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 2 เป็น 10.80 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.63, 11.85, 12.14, 12.63 และ 13.19 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านยืดหยุ่นเป็น 13.09 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 2 เป็น 12.94 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับวันที่ 2 เป็น 11.18 และ 10.96 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 4 และ 6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 8, 10 และ 12 คะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 9.51, 9.05 และ 8.01 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนเป็น 10.89 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 2 และ 4 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 10.81 และ 10.90 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6, 8, 10 และ 12 มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.20, 11.75, 12.50 และ 13.24 คะแนน ตามลำดับ

จากการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสของขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ปรากฏว่า ขนมจีนทุกตัวอย่างมีคะแนนด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น คะแนนด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 9.59, 10.60, 12.89 และ 10.58 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6 มีคะแนนเปลี่ยนแปลงเป็น 6.86, 13.14, 7.91 และ 13.43 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 9.80, 11.43, 12.25 และ 10.55 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 10 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 7.09, 13.28, 7.90 และ 13.38 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 10.59, 10.76, 13.09 และ 10.89 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 12 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 7.23, 13.19, 8.01 และ 13.24 คะแนน ตามลำดับ

การเก็บรักษาขนมจีนอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ขนมจีนเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเจลแป้งหมักปกติ ส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อมากขึ้น และความยืดหยุ่นลดลง เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ขณะที่ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติของเจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ และเจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ทำให้ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

## ข. การยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และการยอมรับแกงเขียวหวานไก่ เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้ทดสอบให้คะแนน 1-4 คือ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และคะแนน 5-9 คือ ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ ระหว่างอายุการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 36

### 1) ขนมจีนแป้งหมักปกติ

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักปกติในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 2 และ 4 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 6 วัน ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักปกติ

### 2) ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อเป็น 2, 4, 6 และ 8 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 10 วัน ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ

### 3) ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 12 วัน ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ปรากฏว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซี 4, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากขนนเงินแช่เยือกแข็ง การเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน ส่งผลให้ขนนเงินเกิดริ้วรอยมากขึ้น ขนนเงินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้น ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง มากกว่าขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 สอดคล้องกับผลการทดสอบค่าเนื้อสัมผัส ทำให้ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนนเงินแป้งหมักปกติไม่เกิน 4 วันน้อยกว่าขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับไม่เกิน 8 และ 10 วันตามลำดับ

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนนเงินลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร

ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12<sup>1/</sup>

| ขนนเงินสูตรที่ <sup>2/</sup> | การยอมรับทางประสาทสัมผัสระหว่างเก็บรักษา (วัน) |   |   |   |   |    |    |
|------------------------------|------------------------------------------------|---|---|---|---|----|----|
|                              | เริ่มต้น                                       | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 1                            | ✓                                              | ✓ | ✓ | ✗ | * | *  | *  |
| 8                            | ✓                                              | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗  | *  |
| 14                           | ✓                                              | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓  | ✗  |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✗ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนนเงินเหมือนกับตารางที่ 34

\* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนนเงินไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

### 5.1.3 ผลการยอมรับแกงเขียวหวานไก่

ผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่วันเริ่มต้น เมื่ออายุการเก็บรักษาแกงเขียวหวานไก่เป็น 2, 4, 6, 8, 10, 12 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่ตลอดอายุการเก็บรักษา (ตารางที่ 37)

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแกงเขียวหวานไก่ระหว่างการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

| อายุการเก็บรักษา (วัน) | การยอมรับทางประสาทสัมผัส <sup>1/</sup> |
|------------------------|----------------------------------------|
| วันเริ่มต้น            | ✓                                      |
| 2                      | ✓                                      |
| 4                      | ✓                                      |
| 6                      | ✓                                      |
| 8                      | ✓                                      |
| 10                     | ✓                                      |
| 12                     | ✓                                      |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✕ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

## 5.2 การเก็บรักษาขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ-18 เป็นเวลา 56 วัน

ผลการตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และทดสอบความชื้น และความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแกงเขียวหวานไก่

### 5.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมจีน

#### ก. ผลความแน่นเนื้อ

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 14.81 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้น เป็น 20.75, 21.97 และ 22.37 กรัม ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35, 42 และ 49 วัน ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 30.07, 35.53, 35.73 และ 40.60 กรัม ตามลำดับ วันที่ 35 และ 42 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 38)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้นมีค่าความแน่นเนื้อ 19.32 กรัม น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อวันที่ 7, 14 และ 21 คือ 20.65, 20.13 และ 22.15 กรัม ตามลำดับ วันที่ 28 และ 35 มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากวันที่ 21 เป็น 23.83 และ 24.58 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 35 เป็น 26.57, 27.28 และ 30.35 กรัม วันที่ 42 และ 49 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ทั้งสองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 56

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้นมีค่าความแน่นเนื้อเป็น 16.18 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7, 14 และ 21 มีความแน่นเนื้อเป็น 17.55, 18.48 และ 19.30 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28 และ 35 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 21 เป็น 21.80 และ 22.32 กรัม ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 35 เป็น 24.67, 25.62 และ 27.35 กรัม วันที่ 42 และ 35 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ทั้งสองน้อยกว่าวันที่ 56

### ข. ผลความยืดหยุ่น

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่น 8.88 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42 และ 49 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 7.75, 7.10, 6.87, 5.88, 4.78, 3.60 และ 2.48 ตามลำดับ วันที่ 14 และ 21 มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 38)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้นมีค่าความยืดหยุ่น 8.23 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7 และ 14 คือ 7.90 และ 7.80 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 21, 28 และ 35 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันเริ่มต้นเป็น 7.37, 7.27 และ 7.37 ตามลำดับ ทั้งสามวันมีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 35 เป็น 6.60, 6.38 และ 5.78 ตามลำดับ วันที่ 42 และ 49 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ทั้งสองมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 56

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้นมีค่าความยืดหยุ่นเป็น 11.50 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7 และ 14 คือ 11.29 และ 11.08 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 21, 28 และ 35 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 10.27, 10.23 และ 10.03 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 35 เป็น 9.75, 9.15 และ 8.35 ตามลำดับวันที่ 42 และ 49 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ทั้งสองมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 56

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ระหว่างการเก็บรักษา 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ขนมจีนทั้งสามชนิดมีการเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสดังนี้ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 14.81 กรัม และ 8.88 ตามลำดับ วันที่ 6 เป็น 40.60 กรัม และ 2.48 ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 19.32 กรัม และ 8.23 ตามลำดับ วันที่ 10 เป็น 30.35 กรัม และ 5.78 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้นเป็น 43.04 กรัม และ 11.50 ตามลำดับ วันที่ 12 เป็น 27.35 กรัม และ 8.35 ตามลำดับ

**ตารางที่ 38** เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจินลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอือกแข็งแบบโคร โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ – 18 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56<sup>1/</sup>

| สูตรที่<br><sup>2/</sup> | ค่าเนื้อสัมผัส | ค่าเนื้อสัมผัสระหว่างเก็บรักษา(วัน) |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                          |                | วันเริ่มต้น                         | วันที่ 7    | วันที่ 14   | วันที่ 21   | วันที่ 28   | วันที่ 35   | วันที่ 42   | วันที่ 49   | วันที่ 56   |
| 1                        | ความแน่นเนื้อ  | 14.81±0.61e                         | 20.75±2.83d | 21.97±1.74d | 22.37±1.53d | 30.07±0.85c | 35.53±0.47b | 35.73±0.22b | 40.60±0.91a | *           |
|                          | ความยืดหยุ่น   | 8.88±0.28a                          | 7.75±0.42b  | 7.10±0.37c  | 6.87±0.16c  | 5.88±0.44d  | 4.78±0.25e  | 3.60±0.43f  | 2.48±0.39g  | *           |
| 5                        | ความแน่นเนื้อ  | 19.32±0.59f                         | 20.65±1.16e | 20.13±0.50e | 22.15±0.36e | 23.83±0.73c | 24.58±0.76c | 26.57±0.70b | 27.28±0.54b | 30.35±1.11a |
|                          | ความยืดหยุ่น   | 8.23±0.34a                          | 7.90±0.32a  | 7.80±0.40ab | 7.37±0.51bc | 7.27±0.50c  | 7.37±0.36bc | 6.60±0.24d  | 6.38±0.50d  | 5.78±0.25e  |
| 11                       | ความแน่นเนื้อ  | 16.18±0.41e                         | 17.55±0.72d | 18.48±0.50d | 19.30±0.55d | 21.80±1.08c | 22.32±0.62c | 24.67±0.68b | 25.62±0.44b | 27.35±0.49a |
|                          | ความยืดหยุ่น   | 11.50±0.66a                         | 11.29±0.41a | 11.08±0.33a | 10.27±0.53b | 10.23±0.52b | 10.03±0.30b | 9.75±0.62b  | 9.15±0.53c  | 8.35±0.52d  |

**หมายเหตุ** <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมจินเหมือนกับตารางที่ 34

\* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจินไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

### 5.2.2 ผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสขนนเงินพร้อมบริโภคน้ำแข็ง

ผลการตรวจสอบความเข้ม และการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแก่เจียวหวานไก่ ระหว่างการเก็บรักษา

#### ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัสขนนเงิน

ผลการตรวจสอบความเข้มด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่มขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ระหว่างอายุการเก็บ แสดงดังตารางที่ 39

**ตารางที่ 39** เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจิ้นลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ – 18 °ซ วันเริ่มต้น,วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56<sup>1/</sup>

| สูตรที่ <sup>2/</sup> | ความเข้ม      | คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส (วัน) |              |              |              |             |             |              |              |             |
|-----------------------|---------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
|                       |               | วันเริ่มต้น                        | วันที่ 7     | วันที่ 14    | วันที่ 21    | วันที่ 28   | วันที่ 35   | วันที่ 42    | วันที่ 49    | วันที่ 56   |
| 1                     | ความเรียบ     | 9.59±0.30a                         | 9.16±0.18b   | 9.21±0.27b   | 8.96±0.24c   | 8.81±0.14c  | 8.54±0.16d  | 8.20±0.23e   | 7.74±0.57f   | *           |
|                       | ความแน่นเนื้อ | 10.60±0.28e                        | 10.94±0.39de | 10.96±0.29de | 10.80±0.19de | 11.06±0.24d | 11.84±0.48c | 12.55±0.41b  | 13.44±0.35a  | *           |
|                       | ความยืดหยุ่น  | 12.89±0.11a                        | 12.48±0.34b  | 12.24±0.40b  | 12.10±0.47b  | 11.66±0.30c | 10.55±0.26d | 9.31±0.31e   | 8.04±0.31f   | *           |
|                       | ความชุ่ม      | 10.58±0.33d                        | 10.91±0.43cd | 10.97±0.48c  | 10.93±0.47cd | 11.16±0.41c | 12.43±0.32b | 12.78±0.33b  | 13.41±0.27a  | *           |
| 5                     | ความเรียบ     | 9.80±0.29a                         | 9.74±0.23a   | 9.88±0.28a   | 9.69±0.22a   | 9.19±0.29b  | 9.28±0.28b  | 9.20±0.75b   | 8.81±0.31c   | 8.66±0.39c  |
|                       | ความแน่นเนื้อ | 11.13±0.32b                        | 11.38±0.20b  | 11.30±0.32b  | 11.64±0.19b  | 11.34±0.19b | 11.41±0.32b | 11.87±0.27ab | 11.94±0.32ab | 12.24±0.25a |
|                       | ความยืดหยุ่น  | 12.25±0.28a                        | 12.29±0.20a  | 12.15±0.23a  | 12.25±0.13a  | 11.75±0.41b | 11.69±0.22b | 11.61±0.46b  | 11.34±0.23c  | 10.51±0.16d |
|                       | ความชุ่ม      | 10.55±0.42d                        | 10.59±0.30c  | 10.56±0.38c  | 10.49±0.36c  | 10.88±0.12d | 10.94±0.36b | 10.95±0.43b  | 12.33±0.21a  | 12.09±0.39a |
| 11                    | ความเรียบ     | 10.59±0.42a                        | 10.81±0.17a  | 10.83±0.35a  | 10.53±0.29a  | 10.55±0.24a | 10.58±0.25a | 10.63±0.30a  | 9.49±0.29b   | 9.34±0.23b  |
|                       | ความแน่นเนื้อ | 10.76±0.18c                        | 10.80±0.19c  | 10.92±0.19c  | 10.88±0.19c  | 10.96±0.16b | 11.13±0.32b | 11.39±0.38b  | 11.19±0.24b  | 12.09±0.24a |
|                       | ความยืดหยุ่น  | 13.09±0.32a                        | 12.94±0.35a  | 12.86±0.35a  | 12.94±0.35a  | 12.38±0.32b | 12.30±0.16c | 11.89±0.58c  | 11.04±0.15d  | 11.06±0.23d |
|                       | ความชุ่ม      | 10.89±0.11b                        | 10.81±0.12b  | 10.86±0.21b  | 10.91±0.12b  | 10.89±0.11b | 10.93±0.18b | 10.81±0.12b  | 11.66±0.21a  | 11.70±0.23a |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมจิ้นเหมือนกับตารางที่ 34

\* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจิ้นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

### 1) ขนมหินแป้งหมักปกติ

วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบเป็น 9.59 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน คะแนนด้านความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับวันเริ่มต้นเป็น 9.16 และ 9.21 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 21 และ 28 คะแนนความเรียบลดลงเป็น 8.96 และ 8.81 คะแนน ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) วันที่ 35, 42 และ 49 คะแนนความเรียบลดลงเป็น 8.54, 8.20 และ 7.74 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.60 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันเริ่มต้นเป็น 10.94, 10.96 และ 10.80 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 28, 35, 42 และ 49 คะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 11.06, 11.84, 12.55 และ 13.44 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 12.89 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน คะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับวันเริ่มต้นเป็น 12.48, 12.24 และ 12.10 คะแนน ตามลำดับวันที่ 28, 35, 42 และ 49 คะแนนความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.66, 10.55, 9.31 และ 8.04 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.58 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 10.91, 10.97 และ 10.93 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35, 42 และ 49 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็น 11.16, 12.43, 12.78 และ 13.41 คะแนน ตามลำดับ

### 2) ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อร้อยละ 40

วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 9.80 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 9.74, 9.88 และ 9.69 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35 และ 42 วัน ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อมีคะแนนความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับวันที่ 21 เป็น 9.19, 9.28 และ 9.20 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสามวันมีคะแนนความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) วันที่ 49 และ 56 คะแนนด้านความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับวันที่ 42 เป็น 8.81 และ 8.66 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันมีคะแนนความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้ง

หมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.13 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42 และ 49 เป็น 11.38, 11.30, 11.64, 11.34, 11.41, 11.87 และ 11.94 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 56 วัน ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันเริ่มต้นเป็น 12.24 คะแนน วันที่ 42, 49 และ 56 มีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนด้านยืดหยุ่นเป็น 12.25 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 21, 14 และ 21 เป็น 12.29, 12.15 และ 12.25 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 24, 35 และ 42 วัน ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันเริ่มต้นเป็น 11.75, 11.69 และ 11.61 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 และ 56 มีคะแนนความความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) จากวันที่ 42 เป็น 11.34 และ 10.51 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนเป็น 10.55 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 10.59, 10.56 และ 10.49 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35 และ 42 วันมีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันเริ่มต้นเป็น 10.88, 10.94 และ 10.95 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 และ 56 มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นเป็น 12.33 และ 12.09 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

### 3) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 10.59 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 เป็น 10.81, 10.83, 10.53, 10.55, 10.58 และ 10.63 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 49 และ 56 วัน ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเรียบลดลงเป็น 9.49 และ 9.34 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 10.76 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7, 14, 21 และ 28 เป็น 10.80, 10.92, 10.88 และ 10.96 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 35, 42 และ 49 วัน ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับวันที่ 28 เป็น 11.13, 11.39 และ 11.19 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสามวันมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) วันที่ 56 ขนมหิน

แป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 12.09 คะแนน ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนด้านยืดหยุ่นเป็น 13.09 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 12.94, 12.86 และ 12.96 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนลดลงจากวันที่ 21 เป็น 12.38, 12.30, 11.89, 11.04 และ 11.06 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 35 และ 42 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ทั้งสองแตกต่างกับวันที่ 49 และ 56 โดยวันที่ 49 และ 56 ไม่แตกต่างกัน ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนเป็น 10.89 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 เป็น 10.81, 10.86, 10.91, 10.89, 10.93 และ 10.81 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 และ 56 มีคะแนนความชุ่มด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นเป็น 11.66 และ 11.70 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

จากการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ปรากฏว่า ขนมจีนทุกตัวอย่างมีคะแนนด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น คะแนนความเข้มด้านความเรียบความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 9.59, 10.60, 12.89 และ 10.58 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 7.74, 13.44, 8.04 และ 13.41 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 9.80, 11.43, 12.25 และ 10.55 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 56 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 8.66, 12.24, 10.51 และ 12.09 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 10.59, 10.76, 13.09 และ 10.89 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 56 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 9.34, 11.09, 11.06 และ 11.70 คะแนน ตามลำดับ

การเก็บรักษาขนมจีนอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ขนมจีนเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเจลแป้งหมักปกติ ส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อมากขึ้น และความยืดหยุ่นลดลง เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความเข้มด้านความเรียบและ

ความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ขณะที่ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 และขนมจินตผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีความคงทนต่อการกินรูปจากเยือกแข็งมากกว่าขนมจินตแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติของเจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ และเจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ทำให้ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 และขนมจินตผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีคะแนนความชื้นด้านความเรียบและความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้นน้อยกว่าขนมจินตแป้งหมักปกติ

#### ข. การยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจินต

ผลการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจินตแป้งหมักปกติ ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 และขนมจินตแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และการยอมรับแฉงเขียวหวานไก่อ เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้ทดสอบให้คะแนน 1-4 คือ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และคะแนน 5-9 คือ ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ ระหว่างอายุการเก็บรักษา -18 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 40

##### 1) ขนมจินตแป้งหมักปกติ

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจินตแป้งหมักปกติในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจินตแป้งหมักปกติเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, และ 49 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจินตแป้งหมักปกติ เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 56 วัน ผู้ทดสอบไม่ยอมรับขนมจินตแป้งหมักปกติ

##### 2) ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อในวันเริ่มต้น เมื่ออายุการเก็บรักษาขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อตลอดอายุการเก็บรักษา

### 3) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีในวันเริ่มต้นเมื่ออายุการเก็บรักษาขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีตลอดอายุการเก็บรักษา

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมหินเป้งหมักปกติ ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ปรากฏว่า ขนมหินเป้งหมักปกติมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 49 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีอายุการเก็บรักษาไม่น้อยกว่า 56 วัน เกิดจากเมื่อเก็บรักษาขนมหินอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ขนมหินเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมหินเป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลงมากกว่าขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 สอดคล้องกับผลการทดสอบค่าเนื้อสัมผัส ทำให้ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินเป้งหมักปกติน้อยกว่าขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

**ตารางที่ 40** เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมหินลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56<sup>1/</sup>

| ขนมหินสูตรที่ <sup>2/</sup> | การยอมรับทางประสาทสัมผัสระหว่างเก็บรักษา (วัน) |   |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------|------------------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
|                             | ปกติ                                           | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 |
| 1                           | ✓                                              | ✓ | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✗  |
| 8                           | ✓                                              | ✓ | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  |
| 14                          | ✓                                              | ✓ | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✗ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

<sup>2/</sup> ความหมายของสูตรขนมหินเหมือนกับตารางที่ 34

### 5.2.3 ผลการยอมรับแกงเขียวหวานไ้ระหว่างการเก็บรักษา

ผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไ้ในวันเริ่มต้นเป็น เมื่ออายุการเก็บรักษาแกงเขียวหวานไ้เป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับแกงเขียวหวานไ้ตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแกงเขียวหวานไ้ระหว่างเก็บรักษา

-18 องศาเซลเซียส

| อายุการเก็บรักษา (วัน) | การยอมรับทางประสาทสัมผัส <sup>1/</sup> |
|------------------------|----------------------------------------|
| วันเริ่มต้น            | ✓                                      |
| 7                      | ✓                                      |
| 14                     | ✓                                      |
| 21                     | ✓                                      |
| 28                     | ✓                                      |
| 35                     | ✓                                      |
| 42                     | ✓                                      |
| 49                     | ✓                                      |
| 56                     | ✓                                      |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✕ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

### 5.3 ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางจุลชีววิทยา

เมื่อทำการผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครึ่ง และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ที่มีในตัวอย่างในวันเริ่มต้น แช่เยือกแข็งวิธีโครโอเจนิค เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุกๆ 2 วัน และปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างวันที่ 14 และ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 63 วัน ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุกๆ 7 วัน และตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ที่มีในตัวอย่างวันที่ 63

#### 5.3.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

เมื่อตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครึ่ง และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี โดยใช้ขนมจีนแป้งหมักปกติเป็นตัวแทนขนมจีนทั้งหมด เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตัวแทนการเก็บรักษาในตู้เย็นบ้าน และเก็บรักษา -18 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตัวแทนการเก็บรักษาในร้านก่อนถึงผู้บริโภค ปรากฏว่า ขนมจีนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันเริ่มต้นเป็น  $3.0 \times 10^3$  ยูเอฟยู/กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานขนมจีนอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นปริมาณจุลินทรีย์ยังคงใกล้เคียงกับวันเริ่มต้น ตั้งแต่วันที่ 2-14 มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วง  $4.6 \times 10^2$  ถึง  $3.0 \times 10^3$  ซีเอฟยู/กรัม โดยในวันที่ 14 มีปริมาณจุลินทรีย์  $5.2 \times 10^2$  ซีเอฟยู/กรัม ขณะที่การเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $1.2 \times 10^3$  ถึง  $3.5 \times 10^3$  ซีเอฟยู/กรัม เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 63 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์เป็น  $1.2 \times 10^3$  ซีเอฟยู/กรัม ซึ่งตามเกณฑ์ที่กำหนดโดยกรมวิทยาศาสตร์ การแพทย์จะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน  $1.0 \times 10^5$  แสดงว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมจีนเก็บรักษา 4 และ -18 องศาเซลเซียส ยังอยู่ในเกณฑ์ตามที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนด การเก็บรักษาอาหารอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อจุลินทรีย์ มีผลเพียงช่วยลดการเจริญ ดังนั้นเมื่อนำอาหารแช่เยือกแข็งมาเก็บในช่องธรรมดาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ควรรีบรับประทานทันทีเพื่อลดสถานะเสี่ยงต่อเชื้อจุลินทรีย์ ขณะที่การเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเป็นผลจากปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น การผลิตอาหารแช่เยือกแข็งควรควบคุมความสะอาดตั้งแต่กระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ และระหว่างกระบวนการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ควรควบคุมให้มีอุณหภูมิ

การเก็บคงที่ เพื่อยับยั้งไม่ให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษานมจืดแช่เยือกแข็งได้นาน แสดงดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์นมจืดแช่เยือกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน

| เวลา (วัน) | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ซีเอฟยู/กรัม) ที่อุณหภูมิ |                   |
|------------|----------------------------------------------------|-------------------|
|            | 4 องศาเซลเซียส                                     | -18 องศาเซลเซียส  |
| เริ่มต้น   | $3.0 \times 10^3$                                  | $3.0 \times 10^3$ |
| 2          | $5.6 \times 10^2$                                  | *                 |
| 4          | $5.7 \times 10^2$                                  | *                 |
| 6          | $7.5 \times 10^2$                                  | *                 |
| 8          | $7.5 \times 10^2$                                  | $1.2 \times 10^3$ |
| 10         | $1.1 \times 10^3$                                  | *                 |
| 12         | $4.6 \times 10^2$                                  | *                 |
| 14         | $5.2 \times 10^2$                                  | $3.5 \times 10^3$ |
| 21         | *                                                  | $1.5 \times 10^3$ |
| 28         | *                                                  | $1.5 \times 10^3$ |
| 35         | *                                                  | $1.2 \times 10^3$ |
| 42         | *                                                  | $1.5 \times 10^3$ |
| 49         | *                                                  | $2.0 \times 10^3$ |
| 56         | *                                                  | $2.1 \times 10^3$ |
| 63         | *                                                  | $1.2 \times 10^3$ |

หมายเหตุ EAPC = Estimated Aerobic Plate Count

\* ไม่ได้ตรวจสอบ

### 5.3.2 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

วันเริ่มต้น นมจืดแช่เยือกแข็งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ( $3.0 \times 10^3$ ), โคลิฟอร์ม (< 3.0), อี.โคไล (< 3.0), สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (< 10), บาซิลลัส ซีเรียส (< 10), คลอสตริเดียม

เพอร์ฟริงเจนส์ (ไม่พบ), วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส (ไม่พบ) และซัลโมเนลลา (ไม่พบ) เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ขนมนมจืดมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 43

เมื่อเก็บรักษานมจืดอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสหลังแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน ปรากฏว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ( $5.2 \times 10^2$ ), โคลิฟอร์ม ( $< 3.0$ ), อี.โคไล ( $< 3.0$ ), สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส ( $< 10$ ), บาซิลลัส ซีเรียส ( $8.3 \times 10$ ), คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (ไม่พบ), วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส (ไม่พบ) และซัลโมเนลลา (ไม่พบ) เมื่อพิจารณาปริมาณ และชนิด จุลินทรีย์ ขนมนมจืดเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส 14 วัน ภายหลังแช่เยือกแข็ง มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ด้าน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, โคลิฟอร์ม, อี.โคไล, สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส, คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์, วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส และซัลโมเนลลา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ยกเว้นปริมาณบาซิลลัส ซีเรียสเกินเกณฑ์มาตรฐาน ( $< 50$ ) ดังนั้นขนมนมจืดเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากแช่เยือกแข็งมีอายุการเก็บรักษา น้อยกว่า 14 วัน

เมื่อเก็บรักษานมจืดอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หลังแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาการเก็บรักษา 63 วัน ปรากฏว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ( $1.2 \times 10^3$ ), โคลิฟอร์ม ( $< 3.0$ ), อี.โคไล ( $< 3.0$ ), สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส ( $< 10$ ), บาซิลลัส ซีเรียส ( $< 10$ ), คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (ไม่พบ), วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส (ไม่พบ) และซัลโมเนลลา (ไม่พบ) เมื่อพิจารณาปริมาณ และชนิด จุลินทรีย์ ขนมนมจืดเก็บรักษา -18 องศาเซลเซียส ภายหลังแช่เยือกแข็ง 63 วัน มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ด้าน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, โคลิฟอร์ม, อี.โคไล, สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส, บาซิลลัส ซีเรียส, คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์, วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส และซัลโมเนลลา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ดังนั้นขนมนมจืดเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หลังจากแช่เยือกแข็ง มีอายุการเก็บรักษา มากกว่า 63 วัน

**ตารางที่ 43** ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน

| ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์                          | เกณฑ์มาตรฐาน     | วันเริ่มต้น       | วันที่ 14         | วันที่ 63         |
|-------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ซีเอฟยู/กรัม)          | $<1 \times 10^5$ | $3.0 \times 10^3$ | $5.2 \times 10^2$ | $1.2 \times 10^3$ |
| โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/กรัม)                     | $< 100$          | $< 3.0$           | $< 3.0$           | $< 3$             |
| อี.โคไล (เอ็มพีเอ็น/กรัม)                       | $< 3$            | $< 3.0$           | $< 3.0$           | $< 3$             |
| สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (ซีเอฟยู/กรัม)            | $< 50$           | $< 10$            | $< 10$            | $< 10$            |
| บาซิลลัส ซีเรียส (ซีเอฟยู/กรัม)                 | $< 50$           | $< 10$            | $8.3 \times 10$   | $< 10$            |
| คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (ซีเอฟยู/ 0.1 กรัม) | ไม่พบ            | ไม่พบ             | ไม่พบ             | ไม่พบ             |
| วibriโอ พาราอีโมไลติคัส (ซีเอฟยู/ 25 กรัม)      | ไม่พบ            | ไม่พบ             | ไม่พบ             | ไม่พบ             |
| ซัลโมเนลลา (ซีเอฟยู/ 25 กรัม)                   | ไม่พบ            | ไม่พบ             | ไม่พบ             | ไม่พบ             |

## สรุปผลการทดลอง

### 1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

นำแป้งหมักปกติมาดัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 และ 48 ชม ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อได้ผลดังนี้

เมื่อตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และตรวจสอบค่าสี ได้พบว่า แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีขนาดเม็ดสตาร์ช 3.54 ไมครอน และรูปร่างหลายเหลี่ยม ไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ชจำนวนมาก ไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ ขณะที่แป้งปกติไม่มีรูพรุนบริเวณผิวของสตาร์ช ค่าสีของสตาร์ช ค่าสี L, a\* และ b\* แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความสว่างน้อย (93.03) สีค่อนข้างเขียว (-0.40) และค่อนข้างเหลือง (4.37) มากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ ตามลำดับ ขณะที่แป้งปกติมีความสว่าง 97.45 มากที่สุด สีค่อนข้างแดง (0.11) และมีความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด (3.48)

แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าเป็นร้อยละ 7.71, 4.42, 0.55 และ 0.91 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ แต่แป้งหมักทั้งสามชนิดมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าน้อยกว่าแป้งปกติ ส่วนปริมาณแอมิโลส แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณร้อยละ 34.78 น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ การอบผานเนื้อทำให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณแอมิโลสลดลง

เมื่อตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด กำลังการพองตัว การละลาย และร้อยละความเป็นผลึกปรากฏว่า แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีการเปลี่ยนแปลงจากแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ คือ มีอุณหภูมิเริ่มหนืด 93.28 °C สูงที่สุด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคลดลงเป็น 1,714, 945, 769, 1,776 และ 831

เซนต์ปีเตอร์ มีกำลังการพองตัว ณ อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ ลดลงเป็น 1.93, 3.87, 8.91 และ 15.71 ตามลำดับ มีค่าการละลาย ณ อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ ลดลงเป็นร้อยละ 1.62, 2.61, 7.74 และ 13.87 ตามลำดับ มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25.39 เมื่อตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม เปรียบเทียบกับแป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ ปรากฏว่า แป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้น (73.95 °ซ) อุณหภูมิสูงสุด (76.53 °ซ) อุณหภูมิสุดท้าย (80.02 °ซ) และค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดเจลที่ไนซ์ (12.68 จูล/กรัม) เพิ่มขึ้น สมบัติการเกิดรีโทรเกรด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 แป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิสูงสุดลดลง มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุด โดยในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานสลายพันธะลดลงเป็น 2.94 จูล/กรัม

เมื่อตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีร้อยละการสูญเสีย น้ำลดลงจากเจลแป้งหมักปกติเป็นร้อยละ 2.48, 41.42 และ 51.43 มีความแน่นเนื้อลดลงเป็น 312.83, 272.10 และ 344.99 กรัม มีความยืดหยุ่นรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เพิ่มขึ้นเป็น 50.13 และ 47.62 เมื่อส่องดูโครงสร้างเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีรูพรุนเล็กจำนวนมากขนาดใกล้เคียงกับเจลแป้งหมักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีโครงสร้างเจลละเอียด รูพรุนมีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งแสดงถึงการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุด

จากการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง แป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีกำลังการพองตัว ร้อยละการละลายต่ำ มีเป็นผลึกสูง มีความคงทนต่อการเกิดเจลที่ไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรด จึงมีความเหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งมากกว่าแป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 ชม

## 2. ผลการตรวจสอบการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อ และหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผสมเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

นำแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม ทดแทนแป้งหมักปกติร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด ตรวจสอบปริมาณขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ

ผลานเนื้อที่ผลิตได้ และหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

## 2.1 ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ และผลการตรวจสอบจับขนมจีน

ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีอุณหภูมิเริ่มหนืดสูงขึ้นกว่าแป้งหมักปกติ ( $88.40^{\circ}\text{C}$ ) เป็น  $90.70^{\circ}\text{C}$  สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มมากขึ้น มีสมบัติด้านความหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้ายและเซตแบคลดลง แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีค่าเป็น 1,872, 967, 905, 2,007 และ 1,102 เซนติปัวส์ ตามลำดับ น้อยกว่าแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 2,082, 1,037, 1,045, 2,249, และ 1,203 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อนำแป้งหมักอบผลานเนื้อมาทดแทนแป้งหมักปกติ ปรากฏว่า เมื่อปริมาณการทดแทนแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ปริมาณจับขนมจีนมีจำนวนลดลง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีปริมาณจับขนมจีน 14-15 จับ น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติซึ่งสามารถจับเส้นได้ 19-21 จับ

## 2.2 ผลการหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผลานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

### 2.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อเป็น 22.35 กรัม มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (13.72 กรัม) ความยืดหยุ่น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีความยืดหยุ่นเป็น 7.00 ไม่แตกต่างกับขนมจีนแป้งหมักปกติ (7.71)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสดังนี้ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินเป้งหมักปกติ โดยรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกมีความแน่นเนื้อลดลงเป็น 26.74 กรัม มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเป็น 4.14 จากขนมหินเป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 37.81 กรัม และ 1.39 ตามลำดับ ส่วนขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด มีความแน่นเนื้อลดลงเป็น 31.87 กรัม มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 3.23 จากขนมหินเป้งหมักปกติ ซึ่งมีค่าเป็น 45.39 กรัม และ 0.58 ตามลำดับ

## 2.2.2 ผลทางประสาทสัมผัส

เนื่องจากขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 ได้รับการยอมรับมากที่สุดจึงนำมาเปรียบเทียบกับขนมหินเป้งหมักปกติมีผลดังต่อไปนี้

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความเข้มข้นความเรียบ และความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากขนมหินเป้งหมักปกติเป็น 10.08 และ 9.99 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่นลดลงเป็น 10.60 คะแนน ส่วนความชุ่มเป็น 10.48 คะแนน ไม่แตกต่างกับขนมหินเป้งหมักปกติ

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความเข้มข้นความเรียบ และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อ และความชุ่มลดลงจากขนมหินเป้งหมักปกติ โดยรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก มีความเข้มข้นความเรียบ 7.79 คะแนน และความยืดหยุ่น 9.53 คะแนน มากกว่าขนมหินเป้งหมักปกติ และมีความแน่นเนื้อ 10.79 คะแนน และความชุ่ม 10.83 คะแนน น้อยกว่าขนมหินเป้งหมักปกติ ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มากกว่าขนมหินเป้งหมักปกติ ส่วนขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีความเข้มข้นความเรียบ 7.84 คะแนน และความยืดหยุ่น 9.23 คะแนน มากกว่าขนมหินเป้งหมักปกติ และมี

ความแน่นเนื้อ 10.60 คะแนน และความชุ่ม 11.08 คะแนน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

### 2.2.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างขนมจีน

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีโครงสร้างของเจลแน่นมาก และมีรูพรุนน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเป็น 5 กว่าขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 ยังคงมีโครงสร้างเจลแน่น รูพรุนน้อยกว่า ขนมจีนแป้งหมักปกติ

### 3. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม

นำแป้งหมักปกติมาผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน ชิเอ็มซี กัวร์ โลกัสบิน คาร์ราจีแนน อารบิก และแอลจินेट ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด ร้อยละการสูญเสีย น้ำ คัดเลือกกัม 3 ชนิด หลังจากนั้นตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง สมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และโครงสร้างของเจล ปรากฏว่า

การผสมกัมแซนแทน กัมชิเอ็มซี และกัมกัวร์ในแป้งหมักลดการสูญเสีย น้ำหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งมากกว่าการผสมกัมชนิดอื่นๆ โดยกัมชิเอ็มซีลดการสูญเสีย น้ำมากที่สุด จึงเลือกการผสมกัมชิเอ็มซีเปรียบเทียบกับแป้งหมักปกติ ได้ผลดังนี้คือ สมบัติด้านความหนืด ความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้น ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง และเซตแบคของแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ เมื่อความเข้มข้นของกัมชิเอ็มซีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 มีความหนืดสูงสุดเป็น 3,778 เซนติปัวส์ จากแป้งหมักปกติ 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง เจลแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีมีการสูญเสีย น้ำรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ร้อยละ 29.02 น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (ร้อยละ 56.76) เมื่อตรวจสอบเนื้อสัมผัส รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น เจลแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีมีความแน่นเนื้อลดลง ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากเจลแป้งหมักปกติ รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีความแน่นเนื้อ 298.61 กรัม น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (400.44 กรัม) มีความยืดหยุ่น 43.81 มากกว่าเจลแป้งหมักปกติ (53.95)

สมบัติการเกิดเจลไทโนซ์ แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายน้อยกว่า แป้งหมักปกติ ค่าพลังงานสลายพันธะ แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี (8.60 จูล/กรัม) มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลไทโนซ์ต่ำกว่าแป้งหมักปกติ (10.83 จูล/กรัม) มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด 0.030 จูล/กรัม น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (0.892 จูล/กรัม) เมื่อตรวจโครงสร้างของเจลแป้ง ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีโครงสร้างเจลละเอียดมีรูพรุนจำนวนมากใกล้เคียงกับเจลแป้งหมักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีโครงร่างตาข่ายยึดภายในเจล ขณะที่เจลแป้งหมักปกติมีขนาดรูพรุนใหญ่ ไม่มีโครงร่างตาข่ายยึดภายในเจล

#### 4. หาปริมาณ และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

แป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ลดการสูญเสียให้น้ำน้อยกว่ากัมชนิดอื่น จึงนำมาผลิตขนมจีน และหาปริมาณการผสมกัมในขนมจีนร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกระดับความเข้มข้นกัมที่เหมาะสม จากนั้นหาชนิดกัมที่เหมาะสมต่อขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

##### 4.1 หาปริมาณกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีน

เมื่อตรวจสอบขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 วัดค่าเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสได้ผลว่า เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ขนมจีนผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ร้อยละ 0.3 มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 15.84, 15.49 และ 15.35 กรัม ตามลำดับ จากขนมจีนแป้งหมักปกติ (12.76 กรัม) และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 16.27, 17.76 และ 18.26 ตามลำดับ จากขนมจีนแป้งหมักปกติ (9.09) เมื่อตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ร้อยละ 0.3 ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด

## 4.2 การหาค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

นำขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกวาร์ ร้อยละ 0.3 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด วัดค่าเนื้อสัมผัส ความ  
แข็ง และความชอบทางประสาทสัมผัส เนื่องจากขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับการยอมรับ  
จากผู้ทดสอบมากกว่าขนมจีนผสมกัมชนิดอื่น จึงอธิบายเปรียบเทียบกับขนมจีนแป้งหมักปกติ

### 4.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก่อนแช่เยือกแข็งความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความ  
แน่นเนื้อ 14.88 กรัม มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (12.42 กรัม) และความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้ง  
หมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความยืดหยุ่น (12.39) มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (9.04 )

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค  
และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลง  
เนื้อสัมผัสดังนี้ เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง  
รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค มี  
ความแน่นเนื้อ 30.86 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (37.75 กรัม) มีความยืดหยุ่น 4.03 มากกว่า  
ขนมจีนแป้งหมักปกติ (1.25) ส่วนขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น  
โลหะเย็นจัดมีความแน่นเนื้อ 31.19 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (47.25 กรัม) มีความ  
ยืดหยุ่น 4.09 มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (0.94)

### 4.2.2 ผลทางประสาทสัมผัส

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความเรียบ  
(9.46 คะแนน) ความแน่นเนื้อ (8.76 คะแนน) และความชุ่ม (10.34 คะแนน) ไม่แตกต่างกับ  
ขนมจีนแป้งหมักปกติ มีความยืดหยุ่น (13.05 คะแนน) มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (11.50  
คะแนน)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมนจีนมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกมีคะแนนความเรียบ 7.79 คะแนน และความยืดหยุ่น 9.53 คะแนน มากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ มีคะแนนความแน่นเนื้อ 10.81 คะแนน และความชุ่ม 10.93 คะแนน น้อยกว่า ขนมนจีนแป้งหมักปกติ เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับการยอมรับมากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ ส่วนขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเรียบ 7.70 คะแนน ความยืดหยุ่น 9.56 คะแนน มากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ มีคะแนนความแน่นเนื้อ 10.70 คะแนน และความชุ่มเป็น 10.93 คะแนน น้อยกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับการยอมรับมากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ

## 5. ตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมนจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

นำขนมนจีนแป้งหมักปกติ ขนมนจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และแกงเขียวหวานไก่ แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °C 14 วัน และ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน วัดค่าเนื้อสัมผัส ทดสอบความเข้ม และความชอบทางประสาทสัมผัส และปริมาณจุลินทรีย์

### 5.1 การเก็บรักษาขนมนจีนแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง เก็บรักษา อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน

เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความแน่นเนื้อของขนมนจีนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง โดยวันที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับมีขนมนจีนทั้ง 3 ชนิด มีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 42.07-43.04 กรัม ความยืดหยุ่น อยู่ในช่วง 0.92-4.25 เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส อายุการเก็บรักษาขนมนจีนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง และความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น วันที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับขนมนจีนทั้ง 3 ชนิดมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบอยู่ในช่วง 6.38-7.23 คะแนน ความยืดหยุ่น 7.90-8.21 คะแนน ความแน่นเนื้อ 13.14-13.28 คะแนน และความชุ่ม 13.24-13.43 คะแนน เมื่อตรวจสอบความชอบ

ทางประสาทสัมผัสสามารถสรุปได้ว่า ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักปกติมีอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นไม่เกิน 10, 8 และ 4 วัน ส่วนแกงเขียวหวานไก่ผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่ตลอดอายุการเก็บรักษา 12 วัน

## 5.2 การเก็บรักษาขนมหินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง เก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน

เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความแน่นเนื้อของขนมหินแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง วันที่ 56 ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อมีความแน่นเนื้อ เป็น 27.35 และ 30.35 กรัม ตามลำดับ มีความยืดหยุ่นเป็น 8.35 และ 5.78 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อมีความเรียบเป็น 9.34 และ 8.66 คะแนนตามลำดับ ความยืดหยุ่น 11.06 และ 10.518 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ 11.09 และ 12.24 คะแนนตามลำดับ และความชุ่มชื้นเป็น 11.70 และ 12.09 คะแนน ตามลำดับ ส่วนขนมหินเป้งหมักปกติ ในวันที่ 49 ซึ่งเป็นวันที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ มีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเป็น 40.60 กรัม และ 2.48 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมหินเป้งหมักปกติมีความเรียบเป็น 7.74, 8.04, 13.44 และ 13.41 คะแนน ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัสสามารถสรุปได้ว่า ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อ มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 56 วัน และขนมหินเป้งหมักปกติมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 49 วัน ส่วนแกงเขียวหวานไก่แช่เยือกแข็งผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่ตลอดอายุการเก็บรักษา 56 วัน

## 5.3 ผลความปลอดภัยด้านเชื้อจุลินทรีย์

ขนมหินแกงเขียวหวานไก่แช่เยือกแข็งเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน และอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ แสดงถึงความปลอดภัยต่อการบริโภคขนมหินแกงเขียวหวานไก่แช่เยือกแข็งตามระยะเวลาดังกล่าว

### ข้อเสนอแนะ

1. จากการดัดแปรสตาarchในแป้งหมักด้วยวิธีการอบผานเนื้อ ปรากฏว่าสตาarchแป้งหมักอบผานเนื้อีมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนซ์เพิ่มขึ้น จากสมบัติดังกล่าวอาจมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเส้นประเภทแป้งผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน เช่น ก๋วยเตี๋ยว หรือขนมจีนพาสเจอไรซ์ เป็นต้น
2. การผสมกัมซีเอ็มซีในแป้งสามารถลดการเกิดเจลาทีไนซ์ของสตาarchได้ โดยทำให้ค่าพลังงานการสลายพันธะลดลง จากผลดังกล่าวอาจนำกัมซีเอ็มซีไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งข้าวชนิดอื่นผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน
3. เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านผู้ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ จึงใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ตัดสินการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ขนมจีนที่เป็นตัวแทนของผู้บริโภคโดยแท้จริง จึงควรมีการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ เพื่อหาขนมจีนที่เหมาะสม โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นบุคคลทั่วไปประมาณ 25-30 คน

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กูรอชียะห์ ยามิรุเต็ง. 2547. กระบวนการผลิตข้าวหมกแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2549. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไปที่มีไขมันอาหาร  
ควบคุมเฉพาะกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประเภทอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็นหรือ แช่แข็ง  
ต้องอ่านก่อนบริโภค. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. แหล่งที่มา:  
<http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/varity/cheme/confict23.htm>,  
22 มกราคม 2549.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่2.  
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

งามชื่น คงเสรี. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๋วยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ  
น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนาและ  
ยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ โรงแรม มารวยการ  
เดน ถ. พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และ  
โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528. ขนมจีน. วารสารอาหาร 15 (3) : 123-129.

ทิพวรรณ เฟื่องเรือง. 2550. แกงเจียวหวาน. แหล่งที่มา :<http://www.tipfood.com/Kangkhiewwan/tipacom.html>, 28 เมษายน 2550

นิธิยา รัตนปนนท์. 2544. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ

นิรนาม. 2550. น้ำแกงขนมจีน. แหล่งที่มา : <http://naichef.50megs.com/ded26.html>,

2 พฤษภาคม 2550

น้ำฝน ศีตะจิตต์. 2548. การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวขาวและข้าวหนึ่งที่มีปริมาณแอมิโลสูงหุงสุกแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลก ไพพงษ์. 2549. การดัดแปรแป้งข้าวเหนียวด้วยรังสีไมโครเวฟเพื่อใช้ในก๋วยเตี๋ยวผัดไทยแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไพโรจน์ วิริยาริ. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พลกฤษณ์ วิมุกตพันธ์. 2547. การผลิตข้าวผัดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภควัฒน์ เดชชีวะ. 2547. การใช้กัมและสตาร์ชดัดแปรสำหรับการผลิตขนมจีนหมักคืนรูปเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

\_\_\_\_\_ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2548. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวในระหว่างกระบวนการหมักขนมจีน ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

วิบูลย์เกียรติ โมพีเมตานนท์. 2538. แนวโน้มของอาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค การยอมรับวิธีการเก็บรักษา การหุงต้มและอนาคตของตลาดภายในประเทศ. เอกสารการฝึกอบรมเรื่อง อาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคกับความปลอดภัย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 27 มกราคม 2538 โรงแรมแมนดาริน, กรุงเทพฯ

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2546. กระบวนการแช่เยือกอาหาร, น. 131-163. ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, ผู้รวบรวม. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภาวดี แซ่ม และ ปรีศนา สุวรรณภรณ์. 2550. ผลของการ Annealing ต่อสมบัติทางกายภาพของ แป้งข้าวแอมิโลสสูง ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ

สุวรรณ สุทธิขจรกิจการ. 2533. เมืองไทยกับอาหารแช่เยือกแข็ง. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร. 1(3): 36-40

อดิสร เสวตวิวัฒน์. 2538. อาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคกับความปลอดภัยด้านจุลชีววิทยา. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 13(2): 30-41.

อรพรรณ กัลปนาอุท. 2547. การปรับปรุงคุณภาพกล้วยเดี่ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล, จิตธนา แจ่มเมฆ, สีนินาถ จรรย์โชติเลิศ และ ลัลนา ยังประสิทธิ์พร. 2533. การผลิตแป้งข้าวผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเส้น: ขนมหิน. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร (วิทย์.). 24(4).

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AACC. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10<sup>th</sup> ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

Adebowale, K. O., T. A. Afolabi and B. I. Olu-Owolabi. 2005. Hydrothermal treatments of finger millet(*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids**. 19: 1-10.

Anuntavuttikul, S. 2001. **Improvement of the freeze-thaw stability of tapioca starch, sago starch and rice flour**. M.S. Thesis, Mahidol University.

- AOAC. 2002. **Official Method of Analysis**. The Association of Official Analytical Chemistry, Virginia.
- Bahnassey, Y. A. and W. M. Breene. 1994. Rapid visco-analyzer (RVA) pasting profile of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypocondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, gour, xanthan and locust bean gums. **Starch/Stärke**. 46(4): 134-141.
- Bhattacharya, M., S. Y. Zee and H. Cork. 1999. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. **Cereal Chem.** 76(6): 861-868.
- Bramire, J. 2004. **Polysaccharides**. Source :[http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/LAD/C4c/C4c\\_Polysaccharides.html](http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/LAD/C4c/C4c_Polysaccharides.html) ., September 7, 2005.
- BAM .2001. **Bacteriological Analytical Manual**. U. S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, Maryland
- Chiang, P. Y. and A. I. Yeh. 2002. Effects of soaking and wet-milling of rice. **Journal of Cereal Science**. 35: 85-94.
- Chiewcherngka, K. and O. Naivikul. 2005. Effect of annealing on the thermal properties and starch granules morphology of rice flour, pp. 301-305. *In* **The 3<sup>rd</sup> Conference on Starch Technology**. National Center for Genetic Engineering and Biotechnology. Bangkok.
- Funami, T., Y. Kataoka, T. Omoto, Y. Goto, I. Asai and K. Nishinari. 2005. Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. **Food Hydrocolloids**. 19: 1-13

Gomes, A. M. M., M. E. Claudio, M. D. Siva and M. P. S. R. Nagila. 2004. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*).

**Carbohydrate Polymers.** 60:1-6

\_\_\_\_\_. M. M., M. E. Claudio and M. P. S. R. Nagila. 2005. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*). **Carbohydrate Polymers:** 1-6. (In press)

Heldman, D. R. and R. W. Hartel. 1997. **Principles of food processing.** Chapman&Hall, NewYork.

Hoover, R. and T. Vasanthan. 1994. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume and tuber starches. **Carbohydrate Research.** 252: 33-53

Inglett, G. E., S. C. Peterson, C. J. Carriere and S. Maneepun. 2005. Rheological, texture and sensory properties of Asian noodles containing an oat cereal hydrocolloid. **Food Chemistry.** 90: 1-8

Jacobs, H., R. C. Eerlingen, W. Clauwaert and J. A. Delcour. 1995. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. **Cereal Chemistry.** 72(5): 480-487

\_\_\_\_\_. and J.A. Delcour. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review . **J. Agr. Food Chem.** 46: 2895-2905.

\_\_\_\_\_. N. Mischenko., J. H. Koch., R. C. Eerlingen., J. A. Delcour and H. Reynaers. 1998. Evaluation of the impact of annealing on gelatinization at intermediate water content of wheat and potato starch: a differential scanning calorimetry and small-angle x-ray scattering study. **Carbohydrate Research.** 306:1-10.

- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**. 16: 334-340.
- Karel, M. and D.B. Lund. 2003. **Physical Principle of Food Preservation**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Kiseleva, V. I., N. K. Genkita, R. Tester, L. A. Wasserman, A. A. Popov and V. P. Yuryev. 2004. Annealing of normal, low and high amylose starch extracted from barley cultivars grown under different environmental conditions. **Carbohydrate Polymers**. 56: 157-168.
- Kiseleva, V. I., N. A. V. Krivandin, J. Fornal, W. Blaszcak, T. Jelinski and P. Yuryev. 2005. Annealing of normal and mutant wheat starches LM, SEM, DSC and SAX studies. **Carbohydrate Research**. 340: 75-83.
- Kohyama, K. and T. Sasaki. 2006. Differential scanning calorimetry and a model calculation of starches annealed at 20 and 50 °C. **Carbohydrate Polymers**. 63: 82-88.
- Krueger, B. R., C. A. Knutson, G. E. Inglett and C. E. Walker. 1987. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behavior of corn starch. **Journal of Food Science**. 52(3): 715-718.
- Lee, Y.S., J.M. Cho and C.O. Rhee. 2001. Gelatinization characteristics of pigmented rice starch (Suwon 415). **Food Sci. Biotechnol**. 10(4): 397-402.
- Lee, M. H., M. H. Baek, D. S. Cha H. J. Park and S. T. Lim. 2002. Freeze-thaw stabilization on sweet potato starch gel by polysaccharide gums. **Food Hydrocolloid**. 16: 345-352
- Liu, H., N. A. M. Eskin and S. W. Cui. 2005. Effects of yellow mustard mucilage on functional and rheological properties of buckwheat and pea starches. **Food Chemistry**. (In press)

- Marshall, W.E., J.I. Wadsworth, L.R. Verma and L. Velupillai. 1993. Determining the degree of gelatinization in parboiled rice: Comparison of a subjective and objective method. **Cereal Chem.** 70(2): 226-230.
- Mandala, I. G. and E. Bayas. 2004. Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. **Food Hydrocolloids.** 18: 191-201.
- Miller, J.P. and C. Butcher. 2000. Freezer technology, pp. 159-193. In C.J. Kennedy, ed. **Managing Frozen Foods.** Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Nussinovitch, A. 1997. **Hydrocolloids applications : gum technology in the food and other industries.** First edition. Chapman & Hall, London.
- Paipong, P. and O. Naivikul. 2005. Characterization of native and microwave irradiated Thai glutinous rice flour, pp. 307-313. . *In The 3<sup>rd</sup> Conference on Starch Technology.* National Center for Genetic Engineering and Biotechnology. Bangkok.
- Rojas, J. A., C. M. Rosell and C. B. D. Barber. 1999. Pasting properties of different wheat flour hydrocolloid system. **Food hydrocolloids.** 13: 27-33.
- Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granule starch, pp. 106-108. *In* R. L. Whisler, ed. **Method in Carbohydrate Chemistry.** Vol. IV. Academic press, Inc., New York
- Sekine, M., K. Otobe, J. Sugiyama and Y. Kawamura. 2000. Effects of heating, vacuum drying and steeping on gelatinization properties and dynamic viscoelasticity of various starches. **Starch/Stärke.** 52: 398-405.
- Seow, C.C and C.H. Teo. 1993. Annealing of granular rice starches-interpretation of the effect on phase transitions associated with gelatinization. **Starch/Stärke.** 43(10): 345-351.

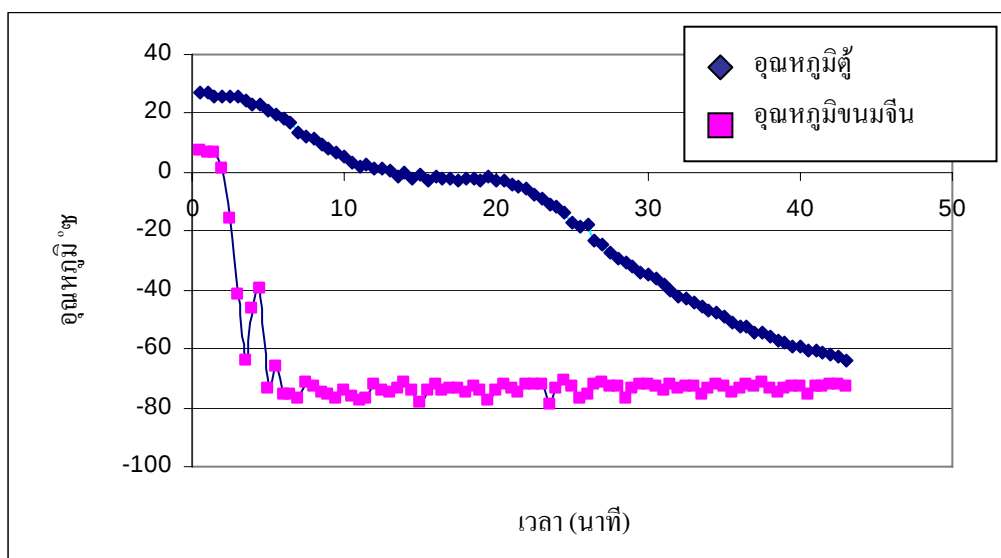
- Shi, X. and J. N. Bemiller. 2002. Effect of food gum on viscosities of starch suspensions during pasting. **Carbohydrate Polymers**. 50: 7-18.
- Singh, R.P. and D.R. Heldman. 1993. **Introduction to Food Engineering**. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press Inc., California.
- Sreenath, H. K. 1992. Studies on starch granules digested by  $\alpha$ -amylase. **Starch/Stärke**. 44: 61-63
- Stoll, V. 1997. Precooked Food, pp 231-174. *In* **Fundamentals of Food Engineering**. Avi, Westport. 629 p.
- Sudhakar, V., R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1992. Starch-gum interactions: formulations and functionality using amaranth/corn starch and CMC. **Starch/Stärke**. 44(10): 369-374.
- Sudhakar, V., R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1996. Starch-galactomannan interactions: functionality and rheological aspects. **Food Chemistry**. 55(3): 359-264.
- Takaya, T., C. Sano and K. Nishinari. 2000. Thermal studies on the gelatinisation and retrogradation of heat-moisture treated starch. **Carbohydrate Polymers**. 41: 97-100.
- Tester, R. and S. J. J. Debon. 2000. Annealing of starch-a review. **International J. of Biological Macromolecules**. 27:1-12.
- Tsutsui, K., K. Katsuta, T. Matoba, M. Takemasa and K. Nishinari. 2005. Effect of annealing temperature on gelatinization of rice starch suspension as studied by rheological and thermal measurements. **J. Agri. Food Chem.** 53: 9056-9063.

- Varavinit, S., S. Shobangob, W. Varanyanond, P. Chinachoti and O. Naivikul. 2002. Freezing and thawing conditions affect the gel stability of different varieties of rice flour. **Starch/Stärke**. 54: 31-36
- Waduge, R. N., R. Hoover, T. Vasanthan, J. Gao and J. Li. 2006. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylase content. **Food Research International**. 39: 59-77.
- Whistler, R.C. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 2<sup>nd</sup> ed. Eagan Press, Minnesota.
- Yamamoto, A. and K. Shirakawa. 1999. Annealing of long-term stored rice grains improves gelatinization properties. **Cereal Chem.** 76 (5): 646-649.
- Yuan, R.C. and D.B. Thompson. 1998. Freeze-thaw stability of three waxy maize starch pastes measured by centrifugation and calorimetry. **Cereal Chem.** 75 (4): 571-573.

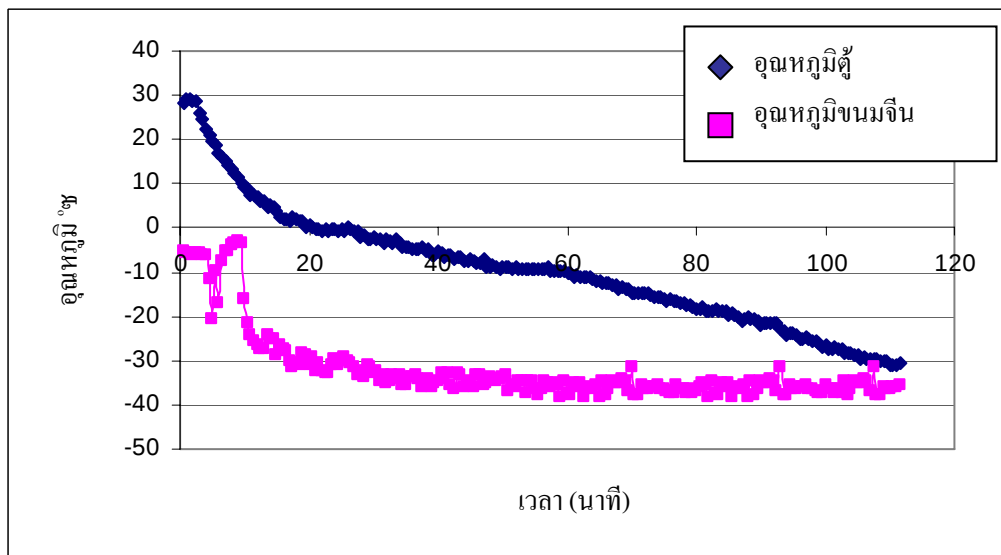
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ผลการทดลองเพิ่มเติม

ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการแช่เยือกแข็งนมจืดแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด



ภาพผนวกที่ ก 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมจืดระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค



ภาพผนวกที่ ก 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมจืดระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

#### ภาคผนวก ข

การตรวจคุณภาพแป้งปกติ แป้งหมักปกติ แป้งหมักอบผานเนื้อ และแป้งหมักผสมกัน

## 1. การตรวจสอบสมบัติของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

### 1.1 ลักษณะเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวตรวจสอบด้วยกล้องเอซีเอ็ม ตามวิธีการของ น้ำฝน (2548)

นำตัวอย่างแป้งข้าวที่ต้องการวิเคราะห์ มาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (desiccator) นาน 12 ชั่วโมง นำมาวางบนแท่นวางตัวอย่าง (aluminum stub) โดยใช้แถบกาคาร์บอน 2 ด้าน ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ยึดติดระหว่างแท่นวางตัวอย่างกับตัวอย่าง จากนั้นเคลือบทองคำซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า และส่องด้วยกล้องเอซีเอ็ม โดยใช้ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์ (kV) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า บันทึกภาพที่ต้องการ

### 1.2 ลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวตรวจสอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ตามวิธีการของน้ำฝน (2548)

ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวที่ต้องการวิเคราะห์หั่นละเอียด 100 เมช บรรจุลงในแผ่นสำหรับวางตัวอย่าง (holder) เคลือบผิวหน้าให้เรียบและเสมอกัน จากนั้นนำเข้าเครื่องเอกซเรย์ โดยใช้สภาวะการทดสอบดังนี้ คือ target เป็นทองแดง (Cu) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 กิโลโวลต์ (kV) ใช้กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์ เริ่มสแกนที่มุมหักเหช่วง 5-35 องศา 2θ ต่อวินาที บันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง และคำนวณหาค่าปริมาณผลึกสัมพัทธ์ (relative crystallinity)

$$\text{ปริมาณผลึกสัมพัทธ์ (ร้อยละ)} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่ใต้พีคที่เกิดขึ้น}}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม}} \times 100$$

### 1.3 กำลังการพองตัว และการละลาย ดัดแปลงวิธีการของ Schoch (1964)

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแล้ว เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำหลอดเหวี่ยงเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แยกส่วนใส่ออกจากหลอดเหวี่ยงใส่ลงในเพลทที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณส่วนที่ละลายน้ำได้ เพื่อคำนวณหาความสามารถในการละลาย เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การละลาย ส่วนหลอดเหวี่ยงที่มีตะกอนอยู่ นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาน้ำหนักสตาร์ชที่พองตัวตามสูตร

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนที่ละลายได้หลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง (กรัม น้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$

$$\text{กำลังการพองตัว (กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักของสตาร์ชที่พองตัว (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง (กรัม น้ำหนักแห้ง)} \times (100 - \text{การละลาย})}$$

### 1.4 ปริมาณแอมิโลส ดัดแปลงวิธีการของ Juliano (1971)

สารเคมี

- เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์แมล
- กรดแอสซิดิก 1 นอร์แมล
- สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยใช้ไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- แอมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชข้าวโพด บริษัท ซิกมา ประเทศสหรัฐอเมริกา

### วิธีวิเคราะห์

1) เตรียมสารละลายโดยใช้ตัวอย่างแบ่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 10 นาที เพื่อให้เกิดเจลาทีนัส เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี

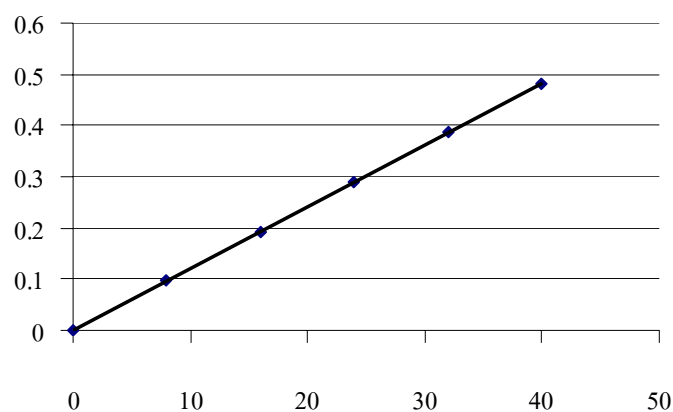
2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ทำเช่นเดียวกันอีก แต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบล็ก วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าสารละลายแบล็กเท่ากับศูนย์

3) เตรียมกราฟมาตรฐานเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยหั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชข้าวโพดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 0.040 กรัม ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมิโลสที่เตรียมไว้ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร และเขียนกราฟระหว่างปริมาณแอมิโลส (กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม หรือแอมิโลสบริสุทธิ์คิดเป็นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม) กับค่าการดูดกลืนแสง การเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงเป็นปริมาณแอมิโลส โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ปริมาณตัวอย่าง 0.1000 กรัมของแต่ละตัวอย่าง เทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วอ่านค่าเป็นร้อยละของแอมิโลสต่อแป้งข้าว 100 กรัม

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแอมิโลส

| ปริมาณสารละลายมาตรฐาน<br>แอมิโลส (มล.) | น้ำหนักแอมิโลส<br>กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620<br>นาโนเมตร |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| 0                                      | 0                                          | 0                                   |
| 1                                      | 8                                          | 0.098                               |
| 2                                      | 16                                         | 0.191                               |
| 3                                      | 24                                         | 0.288                               |
| 4                                      | 32                                         | 0.388                               |
| 5                                      | 40                                         | 0.482                               |

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร



ปริมาณแอมิโลส (กรัม / 100กรัมแป้ง)

ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานแอมิโลส

สมการเส้นตรง  $y = 0.0121x - 0.0002$

$$R^2 = 0.9999$$

เมื่อ  $y =$  ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร

$x =$  ปริมาณแอมิโลส (กรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าว)

### 1.5 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องอาร์วีเอ

ดัดแปลงจากวิธีการของ Jacob *et al.* (1998) หมายเลข 61-02

ชั่งแป้งข้าวให้ได้น้ำหนักแน่นอน 3.00 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในกระบอกสำหรับวิเคราะห์ที่มีน้ำกลั่น ประมาณ 25 มิลลิลิตรบรรจุอยู่ (ปริมาณน้ำที่แท้จริงจากการคำนวณน้ำหนักตัวอย่าง) ใช้ใบพัดกวนให้แป้งกระจายตัวอย่างรวดเร็ว นำกระบอกใส่เข้าเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว โดยคำนวณน้ำหนักตัวอย่างข้าวที่มีขนาด 100 เมช และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ ดังสมการ

$$S = \frac{88 \times 3.0}{100 - M}$$

$$W = 25 + (3.0 - S)$$

โดย  $S$  = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้จริง

$M$  = ความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง (ร้อยละ)

$W$  = น้ำหนักน้ำที่ใช้

#### สภาวะการตรวจสอบ

| ช่วงการทดสอบ    | อุณหภูมิ<br>(องศาเซลเซียส) | เวลา<br>(นาฬิกา: วินาที) |                   |
|-----------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|
|                 | 50.0                       |                          |                   |
| 1               | 50.0                       | 2:00                     | ช่วงเพิ่มอุณหภูมิ |
| 2               | 95.0                       | 4:00                     |                   |
|                 |                            |                          | ช่วงคงอุณหภูมิ    |
| 3               | 95.0                       | 12.00                    |                   |
|                 |                            |                          | ช่วงลดอุณหภูมิ    |
| 4               | 50.0                       | 15.00                    |                   |
|                 |                            |                          | ช่วงคงอุณหภูมิ    |
| สิ้นสุดการทดสอบ |                            | 20.00                    |                   |

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ใช้ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องพิจารณาจากความหนืดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ให้ความร้อน โดยสามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ แนนอน และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ การประเมินสมบัติความข้นหนืด (pasting properties) โดยการควบคุมให้อยู่ที่สภาวะอุณหภูมิสูงภายใต้แรงเฉือนค่าหนึ่ง ทำให้ทราบความเสถียรของตัวอย่างที่ทดสอบ หลังจากนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง เพื่อแสดงถึงค่าเซตแบคระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว คือ

ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) คือ ความหนืดสูงสุดของการเปลี่ยนเป็นลักษณะหนืดขึ้นในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์ (Centipoise)

ความหนืดต่ำสุด (trough) คือ ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น ในช่วงอุณหภูมิ 95-50 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

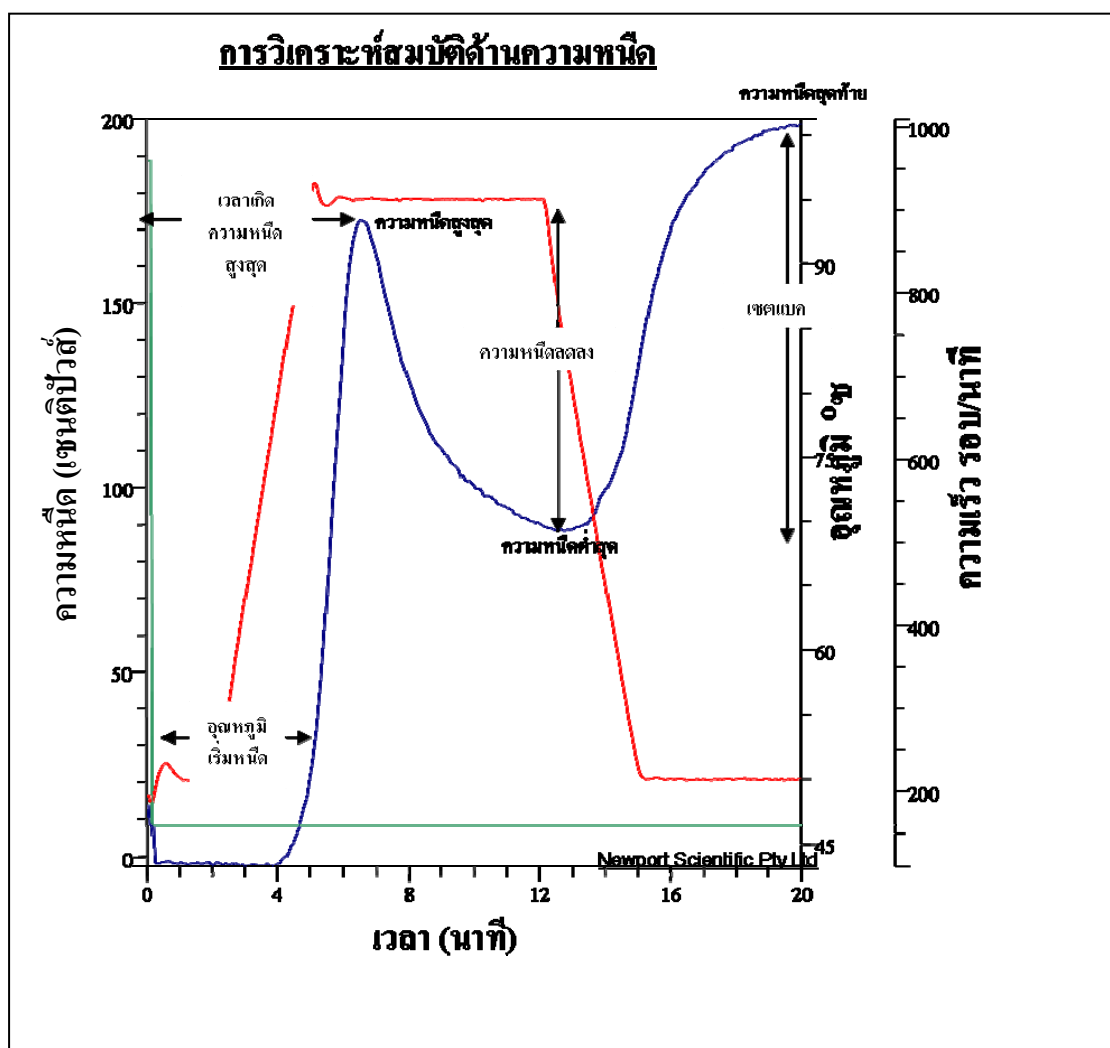
ความหนืดลดลง (break down) คือ ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) คือ ค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

ค่าเซตแบค (setback) คือ ความหนืดที่สูงขึ้นหลังจากเบรคดาวน์เนื่องจากอุณหภูมิต่ำลง และโมเลกุลของสตาร์ชเริ่มยึดเหนี่ยวกันแข็งแรงขึ้น ได้จากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

เวลาเกิดความหนืดสูงสุด (peak time) คือ เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็นนาที่

อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส



ภาพผนวกที่ ข2 ลักษณะเส้นความหนืดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว

### 1.6 เนื้อสัมผัสของเจล

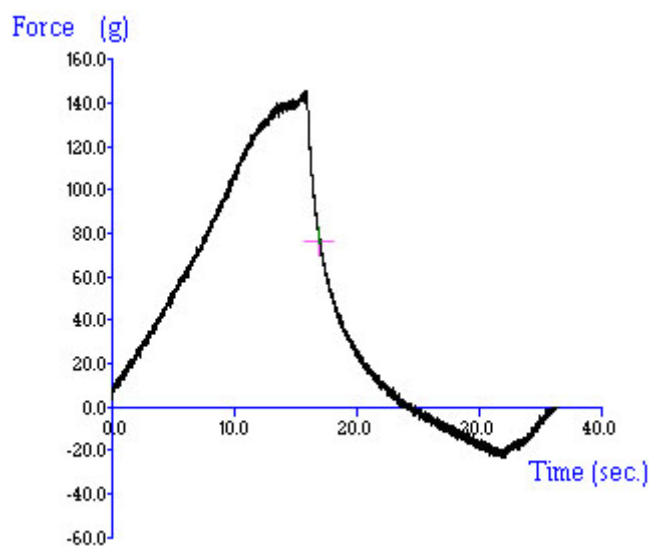
ดัดแปลงวิธีการของ Perez *et al.* (1998)

เตรียมสารละลายน้ำแป้งร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที โดยคนตลอดเวลา จากนั้นเทของเหลวขึ้นลงในภาชนะพลาสติกทรงกระบอก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง 8 เซนติเมตร) ประมาณ 150 กรัม ปิดฝาแล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัดอะลูมิเนียม

ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทำการวัดโดยให้หัววัดกดลงในเจลด้วยแรงคงที่ 10 กรัม เป็นระยะทาง 16 มิลลิเมตร โดยการกำหนดสภาวะการวัดดังนี้

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| Mode:                  | Measure force in compression |
| Option:                | Return to start              |
| Pre-Test Speed:        | 1.0 mm/s                     |
| Test Speed:            | 1.0 mm/s                     |
| Post-Test Speed:       | 1.0 mm/s                     |
| Distance:              | 16.0 mm                      |
| Trigger Type:          | Auto – 10g                   |
| Data Acquisition Rate: | 200 pps                      |

รายงานค่าความแข็ง (hardness) ของเจลจากค่าแรงด้านการกด มีหน่วยเป็น กรัม และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของเจลจากค่าพื้นที่ทางลบขณะที่ถอนหัววัดออกจากเจล มีหน่วยเป็น กรัม·วินาที



ภาพผนวกที่ ข3 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเจล วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

## 2. ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างภายในเส้นขนมจีน

นำตัวอย่างเส้นขนมจีนที่ต้องการวิเคราะห์ มาทำแห้งโดยแช่เยือกแข็งด้วยการราดด้วยไนโตรเจนเหลว หลังจากนั้นรับนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer)

หักเส้นขนมจีนด้วยมือเป็น 2 ท่อน แล้วนำมาวางบนแท่นวางตัวอย่าง โดยใช้แถบการคาร์บอน 2 ด้าน ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ยึดติดระหว่างแท่นวางตัวอย่างกับตัวอย่าง จากนั้นเคลือบทองคำซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า และส่องด้วยกล้องเอสอีเอ็ม โดยใช้ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์ (kV) ที่กำลังขยาย 50 บันทึกภาพที่ต้องการ

## 3. การตรวจสอบสมบัติของขนมจีน

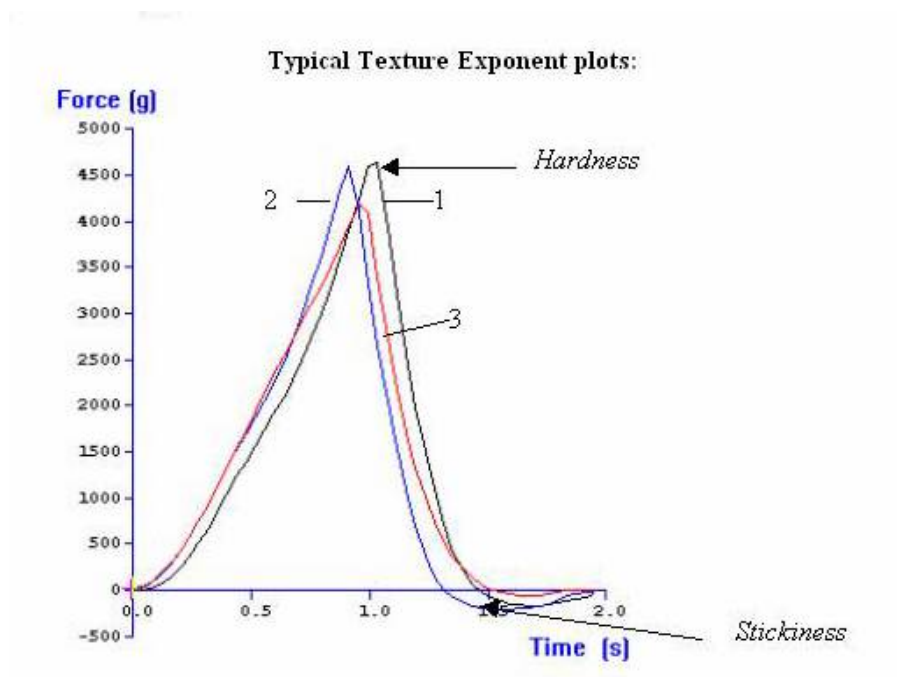
### 3.1 เนื้อสัมผัสของขนมจีน

ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50

นำเส้นขนมจีน ความยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 1 เส้น มาตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัดแบบใบมีดพลาสติก มีหน้าตัดแบนกว้าง 1 มิลลิเมตร (AACC 1 mm flat Perspex knife blade วางตัวอย่างเส้นขนมจีนกลางแท่นวางตัวอย่างที่มีร่องตรงกลาง ทำการวัดโดยให้หัววัดตกลงบนตัวอย่างด้วยแรงคงที่ 5 กรัม เป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงของตัวอย่าง โดยการกำหนดสถานะการวัดดังนี้

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| Mode:                  | Measure force in compression |
| Option:                | Return to start              |
| Pre-Test Speed:        | 2 mm/s                       |
| Test Speed:            | 2 mm/s                       |
| Post-Test Speed:       | 2 mm/s                       |
| Stain:                 | 75%                          |
| Trigger Type:          | Auto – 10g                   |
| Data Acquisition Rate: | 200 pps                      |

รายงานค่าความแน่นเนื้อ(firmness) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากค่าแรงต้านการกดสูงสุด มีหน่วยเป็น กรัม



ภาพผนวกที่ ข 4 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ภาคผนวก ค  
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

# 1. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ ผสานเนื้อแซ่เยือกแข็ง

## แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมจินตแซ่เยือกแข็ง

ชื่อผู้ทดสอบ .....

วันที่ .....

### คำชี้แจง

กรุณาดูและทำการประเมินคุณภาพด้านต่าง ๆ โดยทำเครื่องหมาย ( | ) ลงบนเส้นคะแนนความเข้ม ตาม  
ลักษณะที่ให้ไว้ข้างล่างเปรียบเทียบกับขนมจินตปกติ และขนมจินตคีนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5

### ความเรียบ

น้อย

มาก

### ความแน่นเนื้อ

น้อย

มาก

### ความยืดหยุ่น

น้อย

มาก

### ความชุ่ม

น้อย

มาก

### คำชี้แจง

กรุณาดูระดับความพอใจในปัจจัยต่างๆของเส้นขนมจินต

(1=ไม่ชอบเลย, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย,  
7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก, 9 = ชอบมากที่สุด)

### ตัวอย่าง

ความชอบรวม .....

## 2. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือคนมเงินผสมกัม

### แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสนมเงินแช่เยือกแข็ง

ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ .....

#### คำชี้แจง

กรุณาระดับความพอใจในปัจจัยต่างๆของเส้นนมเงิน

(1=ไม่ชอบเลย, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย,  
7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก, 9 = ชอบมากที่สุด)

ตัวอย่าง

ความชอบรวม .....  
.....  
.....  
.....  
.....

### 3. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกตรวจสอบขนมจีนระหว่างการเก็บรักษา

#### แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

ชื่อผู้ทดสอบ .....

วันที่ .....

##### คำชี้แจง

กรุณาชิม และทำการประเมินคุณภาพด้านต่าง ๆ โดยทำเครื่องหมาย ( | ) ลงบนเส้นคะแนนความเข้ม ตามลักษณะที่ให้ไว้ข้างล่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

ความเรียบ

น้อย

มาก

ความแน่นเนื้อ

น้อย

มาก

ความยืดหยุ่น

น้อย

มาก

ความชุ่ม

น้อย

มาก

##### คำชี้แจง

กรุณาบอกระดับความพอใจในปัจจัยต่างๆของเส้นขนมจีน

(1=ไม่ชอบเลย, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย,

7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก, 9 = ชอบมากที่สุด)

เส้นขนมจีน

ตัวอย่าง

ความชอบรวม .....

แกงเขียวหวานไก่

ความชอบรวม .....

ภาคผนวก ง

**ตารางภาคผนวกที่ 1** การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดของเมล็ดสตาร์ชในแป้ง

| การวิเคราะห์       | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig    |
|--------------------|-----------|----------|----|----------|----------|--------|
| ขนาดของเมล็ดสตาร์ช | Treatment | 0.001211 | 3  | 0.000404 | 0.030147 | 0.9927 |
|                    | Error     | 0.321286 | 24 | 0.013387 |          |        |
|                    | Total     | 0.322496 | 27 |          |          |        |

**ตารางภาคผนวกที่ 2** การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีแป้งปกติ แป้งหมัก แป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 และ 48 ชม

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>L</b>     | Treatment | 31.99503 | 3  | 10.66501 | 57.04231 | 9.61E-06 |
|              | Error     | 1.495733 | 8  | 0.186967 |          |          |
|              | Total     | 33.49077 | 11 |          |          |          |
| <b>a*</b>    | Treatment | 0.453767 | 3  | 0.151256 | 672.2469 | 5.99E-10 |
|              | Error     | 0.0018   | 8  | 0.000225 |          |          |
|              | Total     | 0.455567 | 11 |          |          |          |
| <b>b*</b>    | Treatment | 1.465292 | 3  | 0.488431 | 220.3446 | 5.01E-08 |
|              | Error     | 0.017733 | 8  | 0.002217 |          |          |
|              | Total     | 1.483025 | 11 |          |          |          |

**ตารางภาคผนวกที่ 3** การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ช

| การวิเคราะห์            | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-------------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>อุณหภูมิเริ่มต้น</b> | Treatment | 23.87582 | 2  | 11.93791 | 1347.225 | 7.09E-12 |
|                         | Error     | 0.07975  | 9  | 0.008861 |          |          |
|                         | Total     | 23.95557 | 11 |          |          |          |
| <b>อุณหภูมิสูงสุด</b>   | Treatment | 7.92195  | 2  | 3.960975 | 45.82841 | 1.91E-05 |
|                         | Error     | 0.777875 | 9  | 0.086431 |          |          |
|                         | Total     | 8.699825 | 11 |          |          |          |
| <b>อุณหภูมิสุดท้าย</b>  | Treatment | 3.049617 | 2  | 1.524808 | 400.3873 | 1.61E-09 |
|                         | Error     | 0.034275 | 9  | 0.003808 |          |          |
|                         | Total     | 3.083892 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ช (ต่อ)

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ช่วงอุณหภูมิ     | Treatment | 11.61905 | 2  | 5.809525 | 557.5657 | 3.68E-10 |
|                  | Error     | 0.093775 | 9  | 0.010419 |          |          |
|                  | Total     | 11.71283 | 11 |          |          |          |
| พลังงานสลายพันธะ | Treatment | 1.073553 | 2  | 0.536776 | 441.8316 | 1.04E-09 |
|                  | Error     | 0.010934 | 9  | 0.001215 |          |          |
|                  | Total     | 1.084487 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งหมักคืนรูปจากแช่เยือก  
แข็งรอบที่ 1, 3 และ 5

| การวิเคราะห์       | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| อุณหภูมิเริ่มต้น 1 | Treatment | 0.191489 | 2  | 0.095744 | 1.703638 | 0.259455 |
|                    | Error     | 0.3372   | 6  | 0.0562   |          |          |
|                    | Total     | 0.528689 | 8  |          |          |          |
| อุณหภูมิสูงสุด 1   | Treatment | 44.70607 | 2  | 22.35303 | 19.24515 | 0.002453 |
|                    | Error     | 6.968933 | 6  | 1.161489 |          |          |
|                    | Total     | 51.675   | 8  |          |          |          |
| อุณหภูมิสุดท้าย 1  | Treatment | 9.881356 | 2  | 4.940678 | 20.23302 | 0.002153 |
|                    | Error     | 1.465133 | 6  | 0.244189 |          |          |
|                    | Total     | 11.34649 | 8  |          |          |          |
| ช่วงอุณหภูมิ 1     | Treatment | 12.7106  | 2  | 6.3553   | 18.63178 | 0.002667 |
|                    | Error     | 2.0466   | 6  | 0.3411   |          |          |
|                    | Total     | 14.7572  | 8  |          |          |          |
| พลังงานสลายพันธะ 1 | Treatment | 0.147289 | 2  | 0.073644 | 93.35211 | 3.02E-05 |
|                    | Error     | 0.004733 | 6  | 0.000789 |          |          |
|                    | Total     | 0.152022 | 8  |          |          |          |
| อุณหภูมิเริ่มต้น 3 | Treatment | 1.069267 | 2  | 0.534633 | 1.009335 | 0.418935 |
|                    | Error     | 3.178133 | 6  | 0.529689 |          |          |
|                    | Total     | 4.2474   | 8  |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 4 (ต่อ)

| การวิเคราะห์       | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| อุณหภูมิสูงสุด 3   | Treatment | 9.973756 | 2  | 4.986878 | 11.20787 | 0.009414 |
|                    | Error     | 2.669667 | 6  | 0.444944 |          |          |
|                    | Total     | 12.64342 | 8  |          |          |          |
| อุณหภูมิสุดท้าย 3  | Treatment | 0.155756 | 2  | 0.077878 | 0.329913 | 0.731249 |
|                    | Error     | 1.416333 | 6  | 0.236056 |          |          |
|                    | Total     | 1.572089 | 8  |          |          |          |
| ช่วงอุณหภูมิ 3     | Treatment | 0.635622 | 2  | 0.317811 | 0.259506 | 0.779666 |
|                    | Error     | 7.348067 | 6  | 1.224678 |          |          |
|                    | Total     | 7.983689 | 8  |          |          |          |
| พลังงานสลายพันธะ 3 | Treatment | 0.276822 | 2  | 0.138411 | 303.8293 | 9.35E-07 |
|                    | Error     | 0.002733 | 6  | 0.000456 |          |          |
|                    | Total     | 0.279556 | 8  |          |          |          |
| อุณหภูมิเริ่มต้น 5 | Treatment | 6.932467 | 2  | 3.466233 | 28.49219 | 0.000864 |
|                    | Error     | 0.729933 | 6  | 0.121656 |          |          |
|                    | Total     | 7.6624   | 8  |          |          |          |
| อุณหภูมิสูงสุด 5   | Treatment | 4.914822 | 2  | 2.457411 | 9.904478 | 0.012564 |
|                    | Error     | 1.488667 | 6  | 0.248111 |          |          |
|                    | Total     | 6.403489 | 8  |          |          |          |
| อุณหภูมิสุดท้าย 5  | Treatment | 1.5176   | 2  | 0.7588   | 3.690661 | 0.090148 |
|                    | Error     | 1.2336   | 6  | 0.2056   |          |          |
|                    | Total     | 2.7512   | 8  |          |          |          |
| ช่วงอุณหภูมิ 5     | Treatment | 8.529267 | 2  | 4.264633 | 8.467361 | 0.017905 |
|                    | Error     | 3.021933 | 6  | 0.503656 |          |          |
|                    | Total     | 11.5512  | 8  |          |          |          |
| พลังงานสลายพันธะ 5 | Treatment | 0.211756 | 2  | 0.105878 | 138.1014 | 9.61E-06 |
|                    | Error     | 0.0046   | 6  | 0.000767 |          |          |
|                    | Total     | 0.216356 | 8  |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมัก และแป้งอบผานเนื้อ

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| อุณหภูมิเริ่มต้น | Treatment | 0.011667 | 3  | 0.003889 | 1.244444 | 0.35608  |
|                  | Error     | 0.025    | 8  | 0.003125 |          |          |
|                  | Total     | 0.036667 | 11 |          |          |          |
| ความหนืดสูงสุด   | Treatment | 2475266  | 3  | 825088.5 | 4492.315 | 3.05E-13 |
|                  | Error     | 1469.333 | 8  | 183.6667 |          |          |
|                  | Total     | 2476735  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดต่ำสุด   | Treatment | 807638.7 | 3  | 269212.9 | 352.6037 | 7.79E-09 |
|                  | Error     | 6108     | 8  | 763.5    |          |          |
|                  | Total     | 813746.7 | 11 |          |          |          |
| ความหนืดลดลง     | Treatment | 470598.3 | 3  | 156866.1 | 502.2393 | 1.91E-09 |
|                  | Error     | 2498.667 | 8  | 312.3333 |          |          |
|                  | Total     | 473096.9 | 11 |          |          |          |
| ความหนืดสุดท้าย  | Treatment | 16908779 | 3  | 5636260  | 6433.474 | 7.25E-14 |
|                  | Error     | 7008.667 | 8  | 876.0833 |          |          |
|                  | Total     | 16915788 | 11 |          |          |          |
| เซตแบบค          | Treatment | 10329720 | 3  | 3443240  | 6340.169 | 7.69E-14 |
|                  | Error     | 4344.667 | 8  | 543.0833 |          |          |
|                  | Total     | 10334065 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนกำลังการพองตัวของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

| การวิเคราะห์   | Source    | SS       | df | MS       | F       | Sig      |
|----------------|-----------|----------|----|----------|---------|----------|
| อุณหภูมิ 55 °ซ | Treatment | 0.397168 | 3  | 0.132389 | 78.1416 | 1.06E-07 |
|                | Error     | 0.018636 | 11 | 0.001694 |         |          |
|                | Total     | 0.415805 | 14 |          |         |          |
| อุณหภูมิ 65 °ซ | Treatment | 60.75804 | 3  | 20.25268 | 63.9342 | 3.01E-07 |
|                | Error     | 3.484512 | 11 | 0.316774 |         |          |
|                | Total     | 64.24255 | 14 |          |         |          |

ตารางภาคผนวกที่ 6 (ต่อ)

| การวิเคราะห์   | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|----------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| อุณหภูมิ 75 °ซ | Treatment | 71.51561 | 3  | 23.83854 | 52.13526 | 8.61E-07 |
|                | Error     | 5.029684 | 11 | 0.457244 |          |          |
|                | Total     | 76.54529 | 14 |          |          |          |
| อุณหภูมิ 85 °ซ | Treatment | 318.2127 | 3  | 106.0709 | 128.6392 | 7.59E-09 |
|                | Error     | 9.070171 | 11 | 0.824561 |          |          |
|                | Total     | 327.2829 | 14 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการละลายแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ  
ผสมเนื้อ

| การวิเคราะห์   | Source | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|----------------|--------|----------|----|----------|----------|----------|
| อุณหภูมิ 55 °ซ |        | 0.884455 | 3  | 0.294818 | 15.98153 | 0.000383 |
|                |        | 0.184474 | 10 | 0.018447 |          |          |
|                |        | 1.068929 | 13 |          |          |          |
| อุณหภูมิ 65 °ซ |        | 36.90128 | 3  | 12.30043 | 28.54144 | 3.23E-05 |
|                |        | 4.309673 | 10 | 0.430967 |          |          |
|                |        | 41.21095 | 13 |          |          |          |
| อุณหภูมิ 75 °ซ |        | 92.32219 | 3  | 30.77406 | 18.62795 | 0.000204 |
|                |        | 16.52037 | 10 | 1.652037 |          |          |
|                |        | 108.8426 | 13 |          |          |          |
| อุณหภูมิ 85 °ซ |        | 254.0476 | 3  | 84.68253 | 79.57757 | 2.8E-07  |
|                |        | 10.64151 | 10 | 1.064151 |          |          |
|                |        | 264.6891 | 13 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมัก และแป้งอบผสมเนื้อ

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความชื้น     | Treatment | 1.275958 | 3  | 0.425319 | 277.3822 | 2.02E-08 |
|              | Error     | 0.012267 | 8  | 0.001533 |          |          |
|              | Total     | 1.288225 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 8 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| โปรตีน       | Treatment | 22.98531 | 3  | 7.661769 | 82.26925 | 2.36E-06 |
|              | Error     | 0.745043 | 8  | 0.09313  |          |          |
|              | Total     | 23.73035 | 11 |          |          |          |
| ไขมัน        | Treatment | 0.07091  | 3  | 0.023637 | 119.248  | 5.58E-07 |
|              | Error     | 0.001586 | 8  | 0.000198 |          |          |
|              | Total     | 0.072496 | 11 |          |          |          |
| เถ้า         | Treatment | 0.4315   | 3  | 0.143833 | 1078.75  | 9.09E-11 |
|              | Error     | 0.001067 | 8  | 0.000133 |          |          |
|              | Total     | 0.432567 | 11 |          |          |          |
| แอมโมเนีย    | Treatment | 16.52274 | 3  | 5.507578 | 6.211947 | 0.017446 |
|              | Error     | 7.092886 | 8  | 0.886611 |          |          |
|              | Total     | 23.61562 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการสูญเสีย น้ำหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแบ่ง

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 0.000411 | 2  | 0.000206 | 0.058452 | 0.943437 |
|                  | Error     | 0.05275  | 15 | 0.003517 |          |          |
|                  | Total     | 0.053161 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 33.90378 | 2  | 16.95189 | 23.14212 | 2.6E-05  |
|                  | Error     | 10.98769 | 15 | 0.732512 |          |          |
|                  | Total     | 44.89146 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 437.7334 | 2  | 218.8667 | 43.98112 | 5.32E-07 |
|                  | Error     | 74.64568 | 15 | 4.976379 |          |          |
|                  | Total     | 512.3791 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 674.9759 | 2  | 337.488  | 20.12281 | 5.67E-05 |
|                  | Error     | 251.5712 | 15 | 16.77141 |          |          |
|                  | Total     | 926.5471 | 17 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเจลจากแป้งผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 81.14878 | 2  | 40.57439 | 22.26216 | 3.24E-05 |
|                  | Error     | 27.33858 | 15 | 1.822572 |          |          |
|                  | Total     | 108.4874 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 4820.755 | 2  | 2410.378 | 24.10336 | 2.07E-05 |
|                  | Error     | 1500.026 | 15 | 100.0017 |          |          |
|                  | Total     | 6320.781 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 43200.56 | 2  | 21600.28 | 3.749822 | 0.047793 |
|                  | Error     | 86405.23 | 15 | 5760.349 |          |          |
|                  | Total     | 129605.8 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 6534.888 | 2  | 3267.444 | 92.74236 | 3.59E-09 |
|                  | Error     | 528.4712 | 15 | 35.23141 |          |          |
|                  | Total     | 7063.36  | 17 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นของเจลแป้งผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 446.328  | 2  | 223.164  | 25.67235 | 1.44E-05 |
|                  | Error     | 130.3917 | 15 | 8.692778 |          |          |
|                  | Total     | 576.7197 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 1437.822 | 2  | 718.911  | 77.30535 | 1.26E-08 |
|                  | Error     | 139.4944 | 15 | 9.299628 |          |          |
|                  | Total     | 1577.316 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 164.9266 | 2  | 82.4633  | 10.68714 | 0.001302 |
|                  | Error     | 115.7418 | 15 | 7.716121 |          |          |
|                  | Total     | 280.6684 | 17 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 867.6731 | 2  | 433.8366 | 73.57609 | 1.76E-08 |
|                  | Error     | 88.44651 | 15 | 5.896434 |          |          |
|                  | Total     | 956.1196 | 17 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักทดแทนด้วยแป้งหมักอบ  
ผสมเนื้อ

| การวิเคราะห์    | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความหนืดสูงสุด  | Treatment | 131778.3 | 5  | 26355.66 | 827.9264 | 8.52E-15 |
|                 | Error     | 382      | 12 | 31.83333 |          |          |
|                 | Total     | 132160.3 | 17 |          |          |          |
| ความหนืดต่ำสุด  | Treatment | 23515.61 | 5  | 4703.122 | 386.558  | 8.03E-13 |
|                 | Error     | 146      | 12 | 12.16667 |          |          |
|                 | Total     | 23661.61 | 17 |          |          |          |
| ความหนืดลดลง    | Treatment | 47498.44 | 5  | 9499.689 | 191.4831 | 5.19E-11 |
|                 | Error     | 595.3333 | 12 | 49.61111 |          |          |
|                 | Total     | 48093.78 | 17 |          |          |          |
| ความหนืดสุดท้าย | Treatment | 238902.4 | 5  | 47780.49 | 725.7796 | 1.87E-14 |
|                 | Error     | 790      | 12 | 65.83333 |          |          |
|                 | Total     | 239692.4 | 17 |          |          |          |
| เซตแบค          | Treatment | 92994.67 | 5  | 18598.93 | 337.4806 | 1.8E-12  |
|                 | Error     | 661.3333 | 12 | 55.11111 |          |          |
|                 | Total     | 93656    | 17 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 464.9134 | 5  | 92.98267 | 56.90056 | 2.11E-14 |
|                  | Error     | 49.02377 | 30 | 1.634126 |          |          |
|                  | Total     | 513.9371 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 10.39756 | 5  | 2.079513 | 3.276356 | 0.01771  |
|                  | Error     | 19.04109 | 30 | 0.634703 |          |          |
|                  | Total     | 29.43865 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 60.47747 | 5  | 12.09549 | 18.11466 | 2.87E-08 |
|                  | Error     | 20.03156 | 30 | 0.667719 |          |          |
|                  | Total     | 80.50902 | 35 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 13 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| รอบที่ 5     | Treatment | 749.5244 | 5  | 149.9049 | 104.1446 | 5.03E-18 |
|              | Error     | 43.18176 | 30 | 1.439392 |          |          |
|              | Total     | 792.7061 | 35 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 12.22566 | 5  | 2.445132 | 3.363269 | 0.015727 |
|                  | Error     | 21.81031 | 30 | 0.72701  |          |          |
|                  | Total     | 34.03597 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 5.244159 | 5  | 1.048832 | 1.765582 | 0.150293 |
|                  | Error     | 17.82129 | 30 | 0.594043 |          |          |
|                  | Total     | 23.06545 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 45.15269 | 5  | 9.030538 | 23.71282 | 1.36E-09 |
|                  | Error     | 11.42488 | 30 | 0.380829 |          |          |
|                  | Total     | 56.57757 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 41.38594 | 5  | 8.277189 | 20.10062 | 9.06E-09 |
|                  | Error     | 12.35363 | 30 | 0.411788 |          |          |
|                  | Total     | 53.73958 | 35 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

| การวิเคราะห์                  | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-------------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง<br>ความเรียบ | Treatment       | 8.594167 | 5  | 1.718833 | 8.418776 | 2.62E-05 |
|                               | Panelist(block) | 1.939167 | 7  | 0.277024 | 1.356851 | 0.254127 |
|                               | Error           | 7.145833 | 35 | 0.204167 |          |          |
|                               | Total           | 4345.88  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ)

| การวิเคราะห์      | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความแน่นเนื้อ     | Treatment       | 27.00854 | 5  | 5.401708 | 31.65174 | 4.75E-12 |
|                   | Panelist(block) | 1.118125 | 7  | 0.159732 | 0.935963 | 0.491655 |
|                   | Error           | 5.973125 | 35 | 0.170661 |          |          |
|                   | Total           | 4232.25  | 48 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น      | Treatment       | 43.535   | 5  | 8.707    | 54.63012 | 1.51E-15 |
|                   | Panelist(block) | 0.279167 | 7  | 0.039881 | 0.250224 | 0.96873  |
|                   | Error           | 5.578333 | 35 | 0.159381 |          |          |
|                   | Total           | 6219.26  | 48 |          |          |          |
| ความชุ่ม          | Treatment       | 1.514167 | 5  | 0.302833 | 1.42862  | 0.238306 |
|                   | Panelist(block) | 0.705833 | 7  | 0.100833 | 0.475682 | 0.845526 |
|                   | Error           | 7.419167 | 35 | 0.211976 |          |          |
|                   | Total           | 5073.16  | 48 |          |          |          |
| รอบการคืนรูปที่ 1 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ         | Treatment       | 18.135   | 5  | 3.627    | 16.46854 | 2.37E-08 |
|                   | Panelist(block) | 1.769167 | 7  | 0.252738 | 1.147568 | 0.357099 |
|                   | Error           | 7.708333 | 35 | 0.220238 |          |          |
|                   | Total           | 4212.68  | 48 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ     | Treatment       | 2.7025   | 5  | 0.5405   | 4.812593 | 0.00188  |
|                   | Panelist(block) | 1.656667 | 7  | 0.236667 | 2.107272 | 0.06866  |
|                   | Error           | 3.930833 | 35 | 0.11231  |          |          |
|                   | Total           | 5075.92  | 48 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น      | Treatment       | 15.1175  | 5  | 3.0235   | 13.30125 | 2.73E-07 |
|                   | Panelist(block) | 0.346667 | 7  | 0.049524 | 0.217869 | 0.978764 |
|                   | Error           | 7.955833 | 35 | 0.22731  |          |          |
|                   | Total           | 4919.9   | 48 |          |          |          |
| ความชุ่ม          | Treatment       | 22.83167 | 5  | 4.566333 | 26.67399 | 5.07E-11 |
|                   | Panelist(block) | 4.855833 | 7  | 0.69369  | 4.052156 | 0.002388 |
|                   | Error           | 5.991667 | 35 | 0.17119  |          |          |
|                   | Total           | 5872.52  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ)

| การวิเคราะห์             | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>รอบการคืนรูปที่ 3</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>         | Treatment       | 33.50667 | 5  | 6.701333 | 29.31833 | 1.39E-11 |
|                          | Panelist(block) | 2.33     | 7  | 0.332857 | 1.45625  | 0.214971 |
|                          | Error           | 8        | 35 | 0.228571 |          |          |
|                          | Total           | 2970.4   | 48 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>     | Treatment       | 20.7325  | 5  | 4.1465   | 14.32533 | 1.19E-07 |
|                          | Panelist(block) | 1.009167 | 7  | 0.144167 | 0.498067 | 0.829439 |
|                          | Error           | 10.13083 | 35 | 0.289452 |          |          |
|                          | Total           | 6644.78  | 48 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>      | Treatment       | 12.37667 | 5  | 2.475333 | 30.0127  | 1E-11    |
|                          | Panelist(block) | 1.315833 | 7  | 0.187976 | 2.279157 | 0.050545 |
|                          | Error           | 2.886667 | 35 | 0.082476 |          |          |
|                          | Total           | 3653.18  | 48 |          |          |          |
| <b>ความชุ่ม</b>          | Treatment       | 26.8575  | 5  | 5.3715   | 37.30825 | 4.53E-13 |
|                          | Panelist(block) | 0.775833 | 7  | 0.110833 | 0.769803 | 0.616294 |
|                          | Error           | 5.039167 | 35 | 0.143976 |          |          |
|                          | Total           | 6394.48  | 48 |          |          |          |
| <b>รอบการคืนรูปที่ 5</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>         | Treatment       | 17.01604 | 5  | 3.403208 | 7.52021  | 6.98E-05 |
|                          | Panelist(block) | 2.314792 | 7  | 0.330685 | 0.730727 | 0.647216 |
|                          | Error           | 15.83896 | 35 | 0.452542 |          |          |
|                          | Total           | 2479.05  | 48 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>     | Treatment       | 47.30417 | 5  | 9.460833 | 28.08758 | 2.5E-11  |
|                          | Panelist(block) | 1.985833 | 7  | 0.28369  | 0.842228 | 0.560332 |
|                          | Error           | 11.78917 | 35 | 0.336833 |          |          |
|                          | Total           | 6882.18  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความยืดหยุ่น | Treatment       | 11.58854 | 5  | 2.317708 | 8.24685  | 3.15E-05 |
|              | Panelist(block) | 2.144792 | 7  | 0.306399 | 1.090226 | 0.390533 |
|              | Error           | 9.836458 | 35 | 0.281042 |          |          |
|              | Total           | 3770.67  | 48 |          |          |          |
| ความชุ่ม     | Treatment       | 46.50937 | 5  | 9.301875 | 37.64218 | 3.98E-13 |
|              | Panelist(block) | 0.194792 | 7  | 0.027827 | 0.11261  | 0.997081 |
|              | Error           | 8.648958 | 35 | 0.247113 |          |          |
|              | Total           | 6831.23  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสับผสมแผ่นโลหะเย็นจัด

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 345.2514 | 5  | 69.05027 | 11.26452 | 3.55E-06 |
|                  | Error     | 183.8968 | 30 | 6.129892 |          |          |
|                  | Total     | 529.1481 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 39.83774 | 5  | 7.967548 | 12.93532 | 9.47E-07 |
|                  | Error     | 18.47858 | 30 | 0.615953 |          |          |
|                  | Total     | 58.31632 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 380.0912 | 5  | 76.01824 | 51.58835 | 7.81E-14 |
|                  | Error     | 44.20663 | 30 | 1.473554 |          |          |
|                  | Total     | 424.2978 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 25382.31 | 5  | 5076.462 | 1.211533 | 0.327786 |
|                  | Error     | 125703.4 | 30 | 4190.113 |          |          |
|                  | Total     | 151085.7 | 35 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่ายืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสับผสมแผ่นโลหะเย็นจัด

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig   |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|-------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 51.43336 | 3  | 17.14445 | 15.40086 | 2E-05 |
|                  | Error     | 22.26428 | 20 | 1.113214 |          |       |
|                  | Total     | 73.69764 | 23 |          |          |       |

ตารางภาคผนวกที่ 17 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| รอบที่ 1     | Treatment | 47.20975 | 3  | 15.73658 | 46.6625  | 3.25E-09 |
|              | Error     | 6.744852 | 20 | 0.337243 |          |          |
|              | Total     | 53.9546  | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 3     | Treatment | 26.9168  | 3  | 8.972268 | 24.76402 | 6.13E-07 |
|              | Error     | 7.246212 | 20 | 0.362311 |          |          |
|              | Total     | 34.16302 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 5     | Treatment | 23.42578 | 3  | 7.808593 | 34.15256 | 4.61E-08 |
|              | Error     | 4.572773 | 20 | 0.228639 |          |          |
|              | Total     | 27.99855 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสชนมจินเข้าเยือกแข็งแบบ  
สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

| การวิเคราะห์        | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|---------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนการแช่เยือกแข็ง |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ           | Treatment       | 8.594167 | 5  | 1.718833 | 8.418776 | 2.62E-05 |
|                     | Panelist(block) | 1.939167 | 7  | 0.277024 | 1.356851 | 0.254127 |
|                     | Error           | 7.145833 | 35 | 0.204167 |          |          |
|                     | Total           | 4345.88  | 48 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ       | Treatment       | 27.00854 | 5  | 5.401708 | 31.65174 | 4.75E-12 |
|                     | Panelist(block) | 1.118125 | 7  | 0.159732 | 0.935963 | 0.491655 |
|                     | Error           | 5.973125 | 35 | 0.170661 |          |          |
|                     | Total           | 4232.25  | 48 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น        | Treatment       | 43.535   | 5  | 8.707    | 54.63012 | 1.51E-15 |
|                     | Panelist(block) | 0.279167 | 7  | 0.039881 | 0.250224 | 0.96873  |
|                     | Error           | 5.578333 | 35 | 0.159381 |          |          |
|                     | Total           | 6219.26  | 48 |          |          |          |
| ความชุ่ม            | Treatment       | 1.514167 | 5  | 0.302833 | 1.42862  | 0.238306 |
|                     | Panelist(block) | 0.705833 | 7  | 0.100833 | 0.475682 | 0.845526 |
|                     | Error           | 7.419167 | 35 | 0.211976 |          |          |
|                     | Total           | 5073.16  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 18 (ต่อ)

| การวิเคราะห์             | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>รอบการคืนรูปที่ 1</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>         | Treatment       | 17.80417 | 5  | 3.560833 | 17.17641 | 1.44E-08 |
|                          | Panelist(block) | 1.516667 | 7  | 0.216667 | 1.045136 | 0.41843  |
|                          | Error           | 7.255833 | 35 | 0.20731  |          |          |
|                          | Total           | 4215.38  | 48 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>     | Treatment       | 6.784167 | 5  | 1.356833 | 5.907225 | 0.000465 |
|                          | Panelist(block) | 0.115833 | 7  | 0.016548 | 0.072043 | 0.999305 |
|                          | Error           | 8.039167 | 35 | 0.22969  |          |          |
|                          | Total           | 5454.96  | 48 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>      | Treatment       | 7.388542 | 5  | 1.477708 | 7.247263 | 9.5E-05  |
|                          | Panelist(block) | 1.709792 | 7  | 0.244256 | 1.197927 | 0.329624 |
|                          | Error           | 7.136458 | 35 | 0.203899 |          |          |
|                          | Total           | 4842.27  | 48 |          |          |          |
| <b>ความชุ่ม</b>          | Treatment       | 22.41854 | 5  | 4.483708 | 26.17041 | 6.56E-11 |
|                          | Panelist(block) | 1.039792 | 7  | 0.148542 | 0.867005 | 0.541717 |
|                          | Error           | 5.996458 | 35 | 0.171327 |          |          |
|                          | Total           | 5901.43  | 48 |          |          |          |
| <b>รอบการคืนรูปที่ 3</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>         | Treatment       | 33.60687 | 5  | 6.721375 | 31.37426 | 5.38E-12 |
|                          | Panelist(block) | 1.453125 | 7  | 0.207589 | 0.968992 | 0.468682 |
|                          | Error           | 7.498125 | 35 | 0.214232 |          |          |
|                          | Total           | 2995.73  | 48 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>     | Treatment       | 20.04188 | 5  | 4.008375 | 15.81102 | 3.84E-08 |
|                          | Panelist(block) | 1.173125 | 7  | 0.167589 | 0.661055 | 0.702947 |
|                          | Error           | 8.873125 | 35 | 0.253518 |          |          |
|                          | Total           | 6607.83  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 18 (ต่อ)

| การวิเคราะห์      | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความยืดหยุ่น      | Treatment       | 5.753542 | 5  | 1.150708 | 11.63521 | 1.14E-06 |
|                   | Panelist(block) | 1.494792 | 7  | 0.213542 | 2.159193 | 0.062594 |
|                   | Error           | 3.461458 | 35 | 0.098899 |          |          |
|                   | Total           | 3757.81  | 48 |          |          |          |
| ความชุ่ม          | Treatment       | 22.64354 | 5  | 4.528708 | 20.04328 | 2.14E-09 |
|                   | Panelist(block) | 0.293125 | 7  | 0.041875 | 0.185332 | 0.986685 |
|                   | Error           | 7.908125 | 35 | 0.225946 |          |          |
|                   | Total           | 6367.35  | 48 |          |          |          |
| รอบการคืนรูปที่ 5 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ         | Treatment       | 16.66417 | 5  | 3.332833 | 7.518073 | 7E-05    |
|                   | Panelist(block) | 2.319167 | 7  | 0.33131  | 0.747355 | 0.634012 |
|                   | Error           | 15.51583 | 35 | 0.44331  |          |          |
|                   | Total           | 2474.1   | 48 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ     | Treatment       | 55.165   | 5  | 11.033   | 30.72444 | 7.22E-12 |
|                   | Panelist(block) | 2.246667 | 7  | 0.320952 | 0.893781 | 0.521959 |
|                   | Error           | 12.56833 | 35 | 0.359095 |          |          |
|                   | Total           | 6981.98  | 48 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น      | Treatment       | 30.83688 | 5  | 6.167375 | 27.07888 | 4.13E-11 |
|                   | Panelist(block) | 0.319792 | 7  | 0.045685 | 0.200585 | 0.98324  |
|                   | Error           | 7.971458 | 35 | 0.227756 |          |          |
|                   | Total           | 3193.27  | 48 |          |          |          |
| ความชุ่ม          | Treatment       | 37.69667 | 5  | 7.539333 | 27.15712 | 3.97E-11 |
|                   | Panelist(block) | 0.253333 | 7  | 0.03619  | 0.13036  | 0.995392 |
|                   | Error           | 9.716667 | 35 | 0.277619 |          |          |
|                   | Total           | 6940.48  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิดร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

| การวิเคราะห์       | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>กัมแซนแทน</b>   |           |          |    |          |          |          |
| ความหนืดสูงสุด     | Treatment | 1438324  | 3  | 479441.2 | 181.9626 | 1.06E-07 |
|                    | Error     | 21078.67 | 8  | 2634.833 |          |          |
|                    | Total     | 1459402  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดต่ำสุด     | Treatment | 1584020  | 3  | 528006.8 | 32.06178 | 8.29E-05 |
|                    | Error     | 131747.3 | 8  | 16468.42 |          |          |
|                    | Total     | 1715768  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดลดลง       | Treatment | 2737700  | 3  | 912566.8 | 58.80193 | 8.56E-06 |
|                    | Error     | 124154.7 | 8  | 15519.33 |          |          |
|                    | Total     | 2861855  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดสุดท้าย    | Treatment | 983176.3 | 3  | 327725.4 | 187.2895 | 9.5E-08  |
|                    | Error     | 13998.67 | 8  | 1749.833 |          |          |
|                    | Total     | 997174.9 | 11 |          |          |          |
| เซตแบบค            | Treatment | 2390539z | 3  | 796846.3 | 43.34711 | 2.71E-05 |
|                    | Error     | 147063.3 | 8  | 18382.92 |          |          |
|                    | Total     | 2537602  | 11 |          |          |          |
| <b>กัมซีเอ็มซี</b> |           |          |    |          |          |          |
| ความหนืดสูงสุด     | Treatment | 6623274  | 3  | 2207758  | 854.3128 | 2.3E-10  |
|                    | Error     | 20674    | 8  | 2584.25  |          |          |
|                    | Total     | 6643948  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดต่ำสุด     | Treatment | 3232303  | 3  | 1077434  | 1507.956 | 2.39E-11 |
|                    | Error     | 5716     | 8  | 714.5    |          |          |
|                    | Total     | 3238019  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดลดลง       | Treatment | 889484.9 | 3  | 296495   | 419.3705 | 3.91E-09 |
|                    | Error     | 5656     | 8  | 707      |          |          |
|                    | Total     | 895140.9 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

| การวิเคราะห์    | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความหนืดสุดท้าย | Treatment | 6999658  | 3  | 2333219  | 2420.98  | 3.61E-12 |
|                 | Error     | 7710     | 8  | 963.75   |          |          |
|                 | Total     | 7007368  | 11 |          |          |          |
| เซตแบบค         | Treatment | 1260202  | 3  | 420067.2 | 1209.116 | 5.77E-11 |
|                 | Error     | 2779.333 | 8  | 347.4167 |          |          |
|                 | Total     | 1262981  | 11 |          |          |          |
| กัมกัวร์        |           |          |    |          |          |          |
| ความหนืดสูงสุด  | Treatment | 2724060  | 3  | 908020   | 343.9795 | 8.59E-09 |
|                 | Error     | 21118    | 8  | 2639.75  |          |          |
|                 | Total     | 2745178  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดต่ำสุด  | Treatment | 1157873  | 3  | 385957.8 | 532.9682 | 1.51E-09 |
|                 | Error     | 5793.333 | 8  | 724.1667 |          |          |
|                 | Total     | 1163667  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดลดลง    | Treatment | 972090.7 | 3  | 324030.2 | 451.925  | 2.91E-09 |
|                 | Error     | 5736     | 8  | 717      |          |          |
|                 | Total     | 977826.7 | 11 |          |          |          |
| ความหนืดสุดท้าย | Treatment | 7462802  | 3  | 2487601  | 14.64233 | 0.001298 |
|                 | Error     | 1359128  | 8  | 169891   |          |          |
|                 | Total     | 8821930  | 11 |          |          |          |
| เซตแบบค         | Treatment | 4693636  | 3  | 1564545  | 9.420693 | 0.005289 |
|                 | Error     | 1328603  | 8  | 166075.4 |          |          |
|                 | Total     | 6022240  | 11 |          |          |          |
| กัมโลกส์ป็น     |           |          |    |          |          |          |
| ความหนืดสูงสุด  | Treatment | 8133356  | 3  | 2711119  | 1031.53  | 1.09E-10 |
|                 | Error     | 21026    | 8  | 2628.25  |          |          |
|                 | Total     | 8154382  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดต่ำสุด  | Treatment | 3017312  | 3  | 1005771  | 1383.295 | 3.37E-11 |
|                 | Error     | 5816.667 | 8  | 727.0833 |          |          |
|                 | Total     | 3023129  | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

| การวิเคราะห์    | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความหนืดลดลง    | Treatment | 1743142  | 3  | 581047.2 | 776.1957 | 3.38E-10 |
|                 | Error     | 5988.667 | 8  | 748.5833 |          |          |
|                 | Total     | 1749130  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดสุดท้าย | Treatment | 4192484  | 3  | 1397495  | 1507.003 | 2.39E-11 |
|                 | Error     | 7418.667 | 8  | 927.3333 |          |          |
|                 | Total     | 4199902  | 11 |          |          |          |
| เซตแบบค         | Treatment | 427542   | 3  | 142514   | 449.0987 | 2.98E-09 |
|                 | Error     | 2538.667 | 8  | 317.3333 |          |          |
|                 | Total     | 430080.7 | 11 |          |          |          |
| กัมการจีแนน     |           |          |    |          |          |          |
| ความหนืดสูงสุด  | Treatment | 5359580  | 3  | 1786527  | 666.9877 | 6.18E-10 |
|                 | Error     | 21428    | 8  | 2678.5   |          |          |
|                 | Total     | 5381008  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดต่ำสุด  | Treatment | 626870.9 | 3  | 208957   | 290.6217 | 1.68E-08 |
|                 | Error     | 5752     | 8  | 719      |          |          |
|                 | Total     | 632622.9 | 11 |          |          |          |
| ความหนืดลดลง    | Treatment | 3744952  | 3  | 1248317  | 1510.213 | 2.37E-11 |
|                 | Error     | 6612.667 | 8  | 826.5833 |          |          |
|                 | Total     | 3751564  | 11 |          |          |          |
| ความหนืดสุดท้าย | Treatment | 4953179  | 3  | 1651060  | 1842.015 | 1.07E-11 |
|                 | Error     | 7170.667 | 8  | 896.3333 |          |          |
|                 | Total     | 4960350  | 11 |          |          |          |
| เซตแบบค         | Treatment | 3072500  | 3  | 1024167  | 3203.858 | 1.18E-12 |
|                 | Error     | 2557.333 | 8  | 319.6667 |          |          |
|                 | Total     | 3075057  | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

| การวิเคราะห์           | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>กัมอาร์บิก</b>      |           |          |    |          |          |          |
| <b>ความหนืดสูงสุด</b>  | Treatment | 428147.7 | 3  | 142715.9 | 54.94885 | 1.11E-05 |
|                        | Error     | 20778    | 8  | 2597.25  |          |          |
|                        | Total     | 448925.7 | 11 |          |          |          |
| <b>ความหนืดต่ำสุด</b>  | Treatment | 715625.6 | 3  | 238541.9 | 330.8104 | 1E-08    |
|                        | Error     | 5768.667 | 8  | 721.0833 |          |          |
|                        | Total     | 721394.3 | 11 |          |          |          |
| <b>ความหนืดลดลง</b>    | Treatment | 45054.25 | 3  | 15018.08 | 19.86957 | 0.000459 |
|                        | Error     | 6046.667 | 8  | 755.8333 |          |          |
|                        | Total     | 51100.92 | 11 |          |          |          |
| <b>ความหนืดสุดท้าย</b> | Treatment | 302109.7 | 3  | 100703.2 | 111.3358 | 7.3E-07  |
|                        | Error     | 7236     | 8  | 904.5    |          |          |
|                        | Total     | 309345.7 | 11 |          |          |          |
| <b>เซตแบบ</b>          | Treatment | 110240.3 | 3  | 36746.75 | 114.5353 | 6.54E-07 |
|                        | Error     | 2566.667 | 8  | 320.8333 |          |          |
|                        | Total     | 112806.9 | 11 |          |          |          |
| <b>กัมแอลจินต</b>      |           |          |    |          |          |          |
| <b>ความหนืดสูงสุด</b>  | Treatment | 719488.9 | 3  | 239829.6 | 91.88875 | 1.54E-06 |
|                        | Error     | 20880    | 8  | 2610     |          |          |
|                        | Total     | 740368.9 | 11 |          |          |          |
| <b>ความหนืดต่ำสุด</b>  | Treatment | 2100977  | 3  | 700325.6 | 909.8091 | 1.79E-10 |
|                        | Error     | 6158     | 8  | 769.75   |          |          |
|                        | Total     | 2107135  | 11 |          |          |          |
| <b>ความหนืดลดลง</b>    | Treatment | 2184465  | 3  | 728155   | 990.4624 | 1.28E-10 |
|                        | Error     | 5881.333 | 8  | 735.1667 |          |          |
|                        | Total     | 2190346  | 11 |          |          |          |
| <b>ความหนืดสุดท้าย</b> | Treatment | 1108776  | 3  | 369591.9 | 419.5537 | 3.91E-09 |
|                        | Error     | 7047.333 | 8  | 880.9167 |          |          |
|                        | Total     | 1115823  | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| เขตแบบค      | Treatment | 1188005  | 3  | 396001.6 | 1020.842 | 1.13E-10 |
|              | Error     | 3103.333 | 8  | 387.9167 |          |          |
|              | Total     | 1191108  | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการสูญเสีย น้ำหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแข็งหมักปกติผสมกัม

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 0.155203 | 8  | 0.0194   | 54.53823 | 1.13E-14 |
|                  | Error     | 0.009604 | 27 | 0.000356 |          |          |
|                  | Total     | 0.164808 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 681.292  | 8  | 85.16149 | 45.49575 | 1.08E-13 |
|                  | Error     | 50.54011 | 27 | 1.871856 |          |          |
|                  | Total     | 731.8321 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 2510.216 | 8  | 313.777  | 285.0884 | 4.98E-24 |
|                  | Error     | 29.71703 | 27 | 1.100631 |          |          |
|                  | Total     | 2539.933 | 35 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 2795.425 | 8  | 349.4282 | 214.791  | 2.14E-22 |
|                  | Error     | 43.92438 | 27 | 1.626829 |          |          |
|                  | Total     | 2839.35  | 35 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแข็งหมักผสมกัม และเจลแข็งหมักผสมกัมก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5

| การวิเคราะห์                         | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------------------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง<br>อุณหภูมิเริ่มต้น | Treatment | 10.43287 | 3  | 3.477622 | 11.20819 | 0.003088 |
|                                      | Error     | 2.4822   | 8  | 0.310275 |          |          |
|                                      | Total     | 12.91507 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 21 (ต่อ)

| การวิเคราะห์        | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|---------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| อุณหภูมิสูงสุด      | Treatment | 0.458433 | 3  | 0.152811 | 9.051004 | 0.005968 |
|                     | Error     | 0.135067 | 8  | 0.016883 |          |          |
|                     | Total     | 0.5935   | 11 |          |          |          |
| อุณหภูมิสุดท้าย     | Treatment | 5.020358 | 3  | 1.673453 | 38.66275 | 4.15E-05 |
|                     | Error     | 0.346267 | 8  | 0.043283 |          |          |
|                     | Total     | 5.366625 | 11 |          |          |          |
| ค่าพลังงานสลายพันธะ | Treatment | 0.095667 | 3  | 0.031889 | 18.75817 | 0.00056  |
|                     | Error     | 0.0136   | 8  | 0.0017   |          |          |
|                     | Total     | 0.109267 | 11 |          |          |          |
| รอบที่ 5            |           |          |    |          |          |          |
| อุณหภูมิเริ่มต้น    | Treatment | 0.363567 | 3  | 0.121189 | 0.906255 | 0.479641 |
|                     | Error     | 1.0698   | 8  | 0.133725 |          |          |
|                     | Total     | 1.433367 | 11 |          |          |          |
| อุณหภูมิสูงสุด      | Treatment | 6.9659   | 3  | 2.321967 | 12.42302 | 0.002224 |
|                     | Error     | 1.495267 | 8  | 0.186908 |          |          |
|                     | Total     | 8.461167 | 11 |          |          |          |
| อุณหภูมิสุดท้าย     | Treatment | 20.6304  | 3  | 6.8768   | 25.41472 | 0.000192 |
|                     | Error     | 2.164667 | 8  | 0.270583 |          |          |
|                     | Total     | 22.79507 | 11 |          |          |          |
| ค่าพลังงานสลายพันธะ | Treatment | 0.01561  | 3  | 0.005203 | 87.96099 | 1.82E-06 |
|                     | Error     | 0.000473 | 8  | 5.92E-05 |          |          |
|                     | Total     | 0.016083 | 11 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความแน่นเนื้อเจลแป้งหมักหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็ง

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 302.5886 | 3  | 100.8629 | 20.55333 | 9.79E-06 |
|                  | Error     | 78.51798 | 16 | 4.907374 |          |          |
|                  | Total     | 381.1066 | 19 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 22 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| รอบที่ 1     | Treatment | 36950.22 | 3  | 12316.74 | 155.1306 | 4.9E-12  |
|              | Error     | 1270.335 | 16 | 79.39594 |          |          |
|              | Total     | 38220.56 | 19 |          |          |          |
| รอบที่ 3     | Treatment | 40361.6  | 3  | 13453.87 | 44.5249  | 5.44E-08 |
|              | Error     | 4834.64  | 16 | 302.165  |          |          |
|              | Total     | 45196.24 | 19 |          |          |          |
| รอบที่ 5     | Treatment | 36288.49 | 3  | 12096.16 | 261.1961 | 8.51E-14 |
|              | Error     | 740.9705 | 16 | 46.31066 |          |          |
|              | Total     | 37029.46 | 19 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยืดหยุ่นเจลแข็งหมักหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็ง

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง | Treatment | 495.6331 | 3  | 165.211  | 13.7939  | 0.000106 |
|                  | Error     | 191.6337 | 16 | 11.9771  |          |          |
|                  | Total     | 687.2668 | 19 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 3944.629 | 3  | 1314.876 | 30.14552 | 8.1E-07  |
|                  | Error     | 697.8821 | 16 | 43.61763 |          |          |
|                  | Total     | 4642.511 | 19 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 521.9047 | 3  | 173.9682 | 40.701   | 1.03E-07 |
|                  | Error     | 68.38877 | 16 | 4.274298 |          |          |
|                  | Total     | 590.2935 | 19 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 1206.723 | 3  | 402.241  | 33.30116 | 4.12E-07 |
|                  | Error     | 193.2622 | 16 | 12.07889 |          |          |
|                  | Total     | 1399.985 | 19 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของนมจืดผสมกับแกนแทน, ซีเอ็มซี และกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

| การวิเคราะห์         | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|----------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>ความแน่นเนื้อ</b> |           |          |    |          |          |          |
| กัมแกนแทน            | Treatment | 485.7669 | 3  | 161.9223 | 169.7256 | 2.16E-14 |
|                      | Error     | 19.08048 | 20 | 0.954024 |          |          |
|                      | Total     | 504.8474 | 23 |          |          |          |
| กัมซีเอ็มซี          | Treatment | 651.1859 | 3  | 217.062  | 291.3743 | 1.15E-16 |
|                      | Error     | 14.89918 | 20 | 0.744959 |          |          |
|                      | Total     | 666.0851 | 23 |          |          |          |
| กัมกัวร์             | Treatment | 321.4327 | 3  | 107.1442 | 129.06   | 2.96E-13 |
|                      | Error     | 16.60378 | 20 | 0.830189 |          |          |
|                      | Total     | 338.0365 | 23 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>  |           |          |    |          |          |          |
| กัมแกนแทน            | Treatment | 174.9037 | 3  | 58.30125 | 110.5798 | 1.27E-12 |
|                      | Error     | 10.54465 | 20 | 0.527233 |          |          |
|                      | Total     | 185.4484 | 23 |          |          |          |
| กัมซีเอ็มซี          | Treatment | 270.6912 | 3  | 90.23042 | 209.4603 | 2.84E-15 |
|                      | Error     | 8.615517 | 20 | 0.430776 |          |          |
|                      | Total     | 279.3068 | 23 |          |          |          |
| กัมกัวร์             | Treatment | 288.169  | 3  | 96.05635 | 238.143  | 8.2E-16  |
|                      | Error     | 8.067117 | 20 | 0.403356 |          |          |
|                      | Total     | 296.2362 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของนมจืดผสมกับแซ่เอือกแข็งแบบโคร โอเจนิค

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแซ่เอือกแข็ง | Treatment | 17.56498 | 3  | 5.854992 | 9.106249 | 0.000528 |
|                  | Error     | 12.85929 | 20 | 0.642964 |          |          |
|                  | Total     | 30.42426 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 25

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| รอบที่ 1     | Treatment | 163.6038 | 3  | 54.53461 | 42.78713 | 6.87E-09 |
|              | Error     | 25.49113 | 20 | 1.274556 |          |          |
|              | Total     | 189.0949 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 3     | Treatment | 200.13   | 3  | 66.71    | 34.16725 | 4.59E-08 |
|              | Error     | 39.04909 | 20 | 1.952455 |          |          |
|              | Total     | 239.1791 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 5     | Treatment | 154.0602 | 3  | 51.35339 | 51.85896 | 1.29E-09 |
|              | Error     | 19.80502 | 20 | 0.990251 |          |          |
|              | Total     | 173.8652 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแซ่เยือกแข็ง | Treatment | 47.38602 | 3  | 15.79534 | 13.98708 | 3.82E-05 |
|                  | Error     | 22.58562 | 20 | 1.129281 |          |          |
|                  | Total     | 69.97164 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 45.78308 | 3  | 15.26103 | 43.88809 | 5.52E-09 |
|                  | Error     | 6.954518 | 20 | 0.347726 |          |          |
|                  | Total     | 52.7376  | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 26.9168  | 3  | 8.972268 | 24.76402 | 6.13E-07 |
|                  | Error     | 7.246212 | 20 | 0.362311 |          |          |
|                  | Total     | 34.16302 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 23.42578 | 3  | 7.808593 | 34.15256 | 4.61E-08 |
|                  | Error     | 4.572773 | 20 | 0.228639 |          |          |
|                  | Total     | 27.99855 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจินผสมกัมแซ่เยือกแข็ง  
แบบไครโอเจนิค

| การวิเคราะห์               | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|----------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแช่เยือกแข็ง           | Treatment       | 0.55375  | 3  | 0.184583 | 1.710425 | 0.195458 |
| ความเรียบ                  | Panelist(block) | 1.90875  | 7  | 0.272679 | 2.526751 | 0.047206 |
|                            | Error           | 2.26625  | 21 | 0.107917 |          |          |
|                            | Total           | 2942.34  | 32 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ              | Treatment       | 0.35125  | 3  | 0.117083 | 0.909385 | 0.453262 |
|                            | Panelist(block) | 1.87375  | 7  | 0.267679 | 2.079057 | 0.091919 |
|                            | Error           | 2.70375  | 21 | 0.12875  |          |          |
|                            | Total           | 3520.34  | 32 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น               | Treatment       | 3.168438 | 3  | 1.056146 | 6.086356 | 0.003794 |
|                            | Panelist(block) | 1.172188 | 7  | 0.167455 | 0.965012 | 0.480997 |
|                            | Error           | 3.644063 | 21 | 0.173527 |          |          |
|                            | Total           | 3899.81  | 32 |          |          |          |
| ความชุ่ม                   | Treatment       | 0.45375  | 3  | 0.15125  | 1.230508 | 0.323496 |
|                            | Panelist(block) | 2.04375  | 7  | 0.291964 | 2.375303 | 0.059012 |
|                            | Error           | 2.58125  | 21 | 0.122917 |          |          |
|                            | Total           | 3338.44  | 32 |          |          |          |
| รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ                  | Treatment       | 4.80375  | 3  | 1.60125  | 6.196959 | 0.003487 |
|                            | Panelist(block) | 0.90875  | 7  | 0.129821 | 0.502419 | 0.822206 |
|                            | Error           | 5.42625  | 21 | 0.258393 |          |          |
|                            | Total           | 2693.92  | 32 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ              | Treatment       | 0.35125  | 3  | 0.117083 | 0.909385 | 0.453262 |
|                            | Panelist(block) | 1.87375  | 7  | 0.267679 | 2.079057 | 0.091919 |
|                            | Error           | 2.70375  | 21 | 0.12875  |          |          |
|                            | Total           | 3520.34  | 32 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 27 (ต่อ)

| การวิเคราะห์                | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความยืดหยุ่น                | Treatment       | 3.168438 | 3  | 1.056146 | 6.086356 | 0.003794 |
|                             | Panelist(block) | 1.172188 | 7  | 0.167455 | 0.965012 | 0.480997 |
|                             | Error           | 3.644063 | 21 | 0.173527 |          |          |
|                             | Total           | 3899.81  | 32 |          |          |          |
| ความชุ่ม                    | Treatment       | 18.0325  | 3  | 6.010833 | 27.13111 | 2.03E-07 |
|                             | Panelist(block) | 2.095    | 7  | 0.299286 | 1.350887 | 0.276605 |
|                             | Error           | 4.6525   | 21 | 0.221548 |          |          |
|                             | Total           | 3896.78  | 32 |          |          |          |
| รอบคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ                   | Treatment       | 23.5775  | 3  | 7.859167 | 36.45334 | 1.65E-08 |
|                             | Panelist(block) | 1.99     | 7  | 0.284286 | 1.318609 | 0.290191 |
|                             | Error           | 4.5275   | 21 | 0.215595 |          |          |
|                             | Total           | 2071.7   | 32 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ               | Treatment       | 13.23094 | 3  | 4.410313 | 22.55331 | 9.06E-07 |
|                             | Panelist(block) | 1.602188 | 7  | 0.228884 | 1.170459 | 0.360508 |
|                             | Error           | 4.106563 | 21 | 0.195551 |          |          |
|                             | Total           | 4143.53  | 32 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น                | Treatment       | 13.04125 | 3  | 4.347083 | 20.84813 | 1.68E-06 |
|                             | Panelist(block) | 0.32875  | 7  | 0.046964 | 0.225236 | 0.974809 |
|                             | Error           | 4.37875  | 21 | 0.208512 |          |          |
|                             | Total           | 3048.06  | 32 |          |          |          |
| ความชุ่ม                    | Treatment       | 13.97    | 3  | 4.656667 | 16.87489 | 8.23E-06 |
|                             | Panelist(block) | 0.255    | 7  | 0.036429 | 0.13201  | 0.994696 |
|                             | Error           | 5.795    | 21 | 0.275952 |          |          |
|                             | Total           | 4233.64  | 32 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 27 (ต่อ)

| การวิเคราะห์                      | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>                  | Treatment       | 14.805   | 3  | 4.935    | 10.94929 | 0.000154 |
|                                   | Panelist(block) | 1.69     | 7  | 0.241429 | 0.535658 | 0.797789 |
|                                   | Error           | 9.465    | 21 | 0.450714 |          |          |
|                                   | Total           | 1673.34  | 32 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>              | Treatment       | 36.61094 | 3  | 12.20365 | 80.17255 | 1.15E-11 |
|                                   | Panelist(block) | 0.382188 | 7  | 0.054598 | 0.358686 | 0.916004 |
|                                   | Error           | 3.196563 | 21 | 0.152217 |          |          |
|                                   | Total           | 4418.33  | 32 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>               | Treatment       | 12.90344 | 3  | 4.301146 | 14.06027 | 3E-05    |
|                                   | Panelist(block) | 2.669688 | 7  | 0.381384 | 1.246729 | 0.322634 |
|                                   | Error           | 6.424063 | 21 | 0.305908 |          |          |
|                                   | Total           | 2466.75  | 32 |          |          |          |
| <b>ความชุ่ม</b>                   | Treatment       | 33.60344 | 3  | 11.20115 | 41.05804 | 5.78E-09 |
|                                   | Panelist(block) | 1.174688 | 7  | 0.167813 | 0.61512  | 0.737399 |
|                                   | Error           | 5.729063 | 21 | 0.272813 |          |          |
|                                   | Total           | 4489.11  | 32 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งวิธีสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

| การวิเคราะห์            | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-------------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>ก่อนแช่เยือกแข็ง</b> | Treatment | 17.57898 | 3  | 5.859659 | 12.68377 | 7.22E-05 |
|                         | Error     | 9.239618 | 20 | 0.461981 |          |          |
|                         | Total     | 26.8186  | 23 |          |          |          |
| <b>รอบที่ 1</b>         | Treatment | 149.2215 | 3  | 49.74049 | 37.31312 | 2.2E-08  |
|                         | Error     | 26.66113 | 20 | 1.333056 |          |          |
|                         | Total     | 175.8826 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 28 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| รอบที่ 3     | Treatment | 592.2667 | 3  | 197.4222 | 192.1937 | 6.53E-15 |
|              | Error     | 20.54409 | 20 | 1.027205 |          |          |
|              | Total     | 612.8108 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 5     | Treatment | 909.6621 | 3  | 303.2207 | 390.3956 | 6.54E-18 |
|              | Error     | 15.53402 | 20 | 0.776701 |          |          |
|              | Total     | 925.1961 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมเงินผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบ ไคร โอเจนิค

| การวิเคราะห์     | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแซ่เยือกแข็ง | Treatment | 51.43336 | 3  | 17.14445 | 15.40086 | 2E-05    |
|                  | Error     | 22.26428 | 20 | 1.113214 |          |          |
|                  | Total     | 73.69764 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 1         | Treatment | 47.20975 | 3  | 15.73658 | 46.6625  | 3.25E-09 |
|                  | Error     | 6.744852 | 20 | 0.337243 |          |          |
|                  | Total     | 53.9546  | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 3         | Treatment | 26.9168  | 3  | 8.972268 | 24.76402 | 6.13E-07 |
|                  | Error     | 7.246212 | 20 | 0.362311 |          |          |
|                  | Total     | 34.16302 | 23 |          |          |          |
| รอบที่ 5         | Treatment | 23.42578 | 3  | 7.808593 | 34.15256 | 4.61E-08 |
|                  | Error     | 4.572773 | 20 | 0.228639 |          |          |
|                  | Total     | 27.99855 | 23 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมเงินผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบ สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด

| การวิเคราะห์     | Source          | SS      | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------|-----------------|---------|----|----------|----------|----------|
| ก่อนแซ่เยือกแข็ง | Treatment       | 0.55375 | 3  | 0.184583 | 1.710425 | 0.195458 |
| ความเรียบ        | Panelist(block) | 1.90875 | 7  | 0.272679 | 2.526751 | 0.047206 |
|                  | Error           | 2.26625 | 21 | 0.107917 |          |          |
|                  | Total           | 2942.34 | 32 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 (ต่อ)

| การวิเคราะห์               | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|----------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความแน่นเนื้อ              | Treatment       | 0.593438 | 3  | 0.197813 | 1.413397 | 0.266805 |
|                            | Panelist(block) | 2.404688 | 7  | 0.343527 | 2.454545 | 0.052491 |
|                            | Error           | 2.939063 | 21 | 0.139955 |          |          |
|                            | Total           | 2405.45  | 32 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น               | Treatment       | 10.02344 | 3  | 3.341146 | 20.31349 | 2.05E-06 |
|                            | Panelist(block) | 1.959688 | 7  | 0.279955 | 1.702072 | 0.162825 |
|                            | Error           | 3.454063 | 21 | 0.164479 |          |          |
|                            | Total           | 4888.75  | 32 |          |          |          |
| ความชุ่ม                   | Treatment       | 0.45375  | 3  | 0.15125  | 1.230508 | 0.323496 |
|                            | Panelist(block) | 2.04375  | 7  | 0.291964 | 2.375303 | 0.059012 |
|                            | Error           | 2.58125  | 21 | 0.122917 |          |          |
|                            | Total           | 3338.44  | 32 |          |          |          |
| รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ                  | Treatment       | 7.2675   | 3  | 2.4225   | 7.092715 | 0.001802 |
|                            | Panelist(block) | 1.54     | 7  | 0.22     | 0.644127 | 0.715002 |
|                            | Error           | 7.1725   | 21 | 0.341548 |          |          |
|                            | Total           | 2798.56  | 32 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ              | Treatment       | 19.00375 | 3  | 6.334583 | 52.76202 | 5.95E-10 |
|                            | Panelist(block) | 1.73375  | 7  | 0.247679 | 2.062965 | 0.094178 |
|                            | Error           | 2.52125  | 21 | 0.12006  |          |          |
|                            | Total           | 3163.54  | 32 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น               | Treatment       | 3.62125  | 3  | 1.207083 | 7.382235 | 0.001467 |
|                            | Panelist(block) | 1.99375  | 7  | 0.284821 | 1.7419   | 0.15326  |
|                            | Error           | 3.43375  | 21 | 0.163512 |          |          |
|                            | Total           | 3903.08  | 32 |          |          |          |
| ความชุ่ม                   | Treatment       | 24.29594 | 3  | 8.098646 | 36.25052 | 1.73E-08 |
|                            | Panelist(block) | 3.272187 | 7  | 0.467455 | 2.092387 | 0.09009  |
|                            | Error           | 4.691563 | 21 | 0.223408 |          |          |
|                            | Total           | 3801.55  | 32 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 (ต่อ)

| การวิเคราะห์                      | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>                  | Treatment       | 20.63844 | 3  | 6.879479 | 29.82395 | 9.24E-08 |
|                                   | Panelist(block) | 1.677188 | 7  | 0.239598 | 1.038707 | 0.434666 |
|                                   | Error           | 4.844063 | 21 | 0.23067  |          |          |
|                                   | Total           | 2154.31  | 32 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>              | Treatment       | 16.1925  | 3  | 5.3975   | 20.05263 | 2.26E-06 |
|                                   | Panelist(block) | 2.295    | 7  | 0.327857 | 1.218045 | 0.336452 |
|                                   | Error           | 5.6525   | 21 | 0.269167 |          |          |
|                                   | Total           | 4092.16  | 32 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>               | Treatment       | 18.21344 | 3  | 6.071146 | 24.05974 | 5.41E-07 |
|                                   | Panelist(block) | 0.452187 | 7  | 0.064598 | 0.256    | 0.964322 |
|                                   | Error           | 5.299063 | 21 | 0.252336 |          |          |
|                                   | Total           | 3142.49  | 32 |          |          |          |
| <b>ความชุ่ม</b>                   | Treatment       | 19.88094 | 3  | 6.626979 | 43.94878 | 3.14E-09 |
|                                   | Panelist(block) | 1.787188 | 7  | 0.255313 | 1.693181 | 0.165041 |
|                                   | Error           | 3.166563 | 21 | 0.150789 |          |          |
|                                   | Total           | 3983.11  | 32 |          |          |          |
| <b>รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>                  | Treatment       | 19.29094 | 3  | 6.430313 | 22.11335 | 1.06E-06 |
|                                   | Panelist(block) | 1.297188 | 7  | 0.185313 | 0.637275 | 0.720298 |
|                                   | Error           | 6.106563 | 21 | 0.290789 |          |          |
|                                   | Total           | 1675.51  | 32 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>              | Treatment       | 35.52844 | 3  | 11.84281 | 44.89913 | 2.59E-09 |
|                                   | Panelist(block) | 0.977187 | 7  | 0.139598 | 0.529252 | 0.802546 |
|                                   | Error           | 5.539063 | 21 | 0.263765 |          |          |
|                                   | Total           | 4294.77  | 32 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 (ต่อ)

| การวิเคราะห์ | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความยืดหยุ่น | Treatment       | 18.85344 | 3  | 6.284479 | 36.41606 | 1.67E-08 |
|              | Panelist(block) | 0.404687 | 7  | 0.057812 | 0.335    | 0.928826 |
|              | Error           | 3.624063 | 21 | 0.172574 |          |          |
|              | Total           | 2272.41  | 32 |          |          |          |
| ความชุ่ม     | Treatment       | 32.54094 | 3  | 10.84698 | 25.46079 | 3.43E-07 |
|              | Panelist(block) | 1.077188 | 7  | 0.153884 | 0.361207 | 0.914586 |
|              | Error           | 8.946563 | 21 | 0.426027 |          |          |
|              | Total           | 4519.51  | 32 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

| การวิเคราะห์                           | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|----------------------------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>                   |           |          |    |          |          |          |
| ขนมจีนแป้งหมักปกติ                     | Treatment | 2562.941 | 3  | 854.3138 | 22.02681 | 1.51E-06 |
|                                        | Error     | 775.7036 | 20 | 38.78518 |          |          |
|                                        | Total     | 3338.645 | 23 |          |          |          |
| ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ      | Treatment | 2179.732 | 5  | 435.9465 | 899.3115 | 1.02E-31 |
| ผลสนเนื้อ ร้อยละ 40                    | Error     | 14.54267 | 30 | 0.484756 |          |          |
|                                        | Total     | 2194.275 | 35 |          |          |          |
| ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 | Treatment | 3335.947 | 6  | 555.9912 | 922.4059 | 5.25E-37 |
|                                        | Error     | 21.09667 | 35 | 0.602762 |          |          |
|                                        | Total     | 3357.044 | 41 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>                    |           |          |    |          |          |          |
| ขนมจีนแป้งหมักปกติ                     | Treatment | 210.2613 | 3  | 70.08708 | 701.4554 | 2.02E-20 |
|                                        | Error     | 1.998333 | 20 | 0.099917 |          |          |
|                                        | Total     | 212.2596 | 23 |          |          |          |
| ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ      | Treatment | 132.5878 | 5  | 26.51756 | 146.8907 | 3.76E-20 |
| ผลสนเนื้อ ร้อยละ 40                    | Error     | 5.415774 | 30 | 0.180526 |          |          |
|                                        | Total     | 138.0036 | 35 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 31 (ต่อ)

| การวิเคราะห์       | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|--------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| ขนมจีนแป้งหมัก     | Treatment | 201.7233 | 6  | 33.62056 | 120.6892 | 6.81E-22 |
| ผสมกัม             | Error     | 9.75     | 35 | 0.278571 |          |          |
| ซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 | Total     | 211.4733 | 41 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

| การวิเคราะห์                                              | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>ขนมจีนแป้งหมักปกติ</b>                                 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ                                                 | Treatment       | 33.97375 | 3  | 11.32458 | 107.3057 | 6.75E-13 |
|                                                           | Panelist(block) | 0.74875  | 7  | 0.106964 | 1.013536 | 0.450105 |
|                                                           | Error           | 2.21625  | 21 | 0.105536 |          |          |
|                                                           | Total           | 2325.2   | 32 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ                                             | Treatment       | 36.7075  | 3  | 12.23583 | 3.477383 | 0.034163 |
|                                                           | Panelist(block) | 22.515   | 7  | 3.216429 | 0.914098 | 0.514957 |
|                                                           | Error           | 73.8925  | 21 | 3.51869  |          |          |
|                                                           | Total           | 4210.16  | 32 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น                                              | Treatment       | 118.7038 | 3  | 39.56792 | 393.5708 | 1.32E-18 |
|                                                           | Panelist(block) | 1.16375  | 7  | 0.16625  | 1.653641 | 0.175259 |
|                                                           | Error           | 2.11125  | 21 | 0.100536 |          |          |
|                                                           | Total           | 3954.48  | 32 |          |          |          |
| ความขุ่น                                                  | Treatment       | 40.73594 | 3  | 13.57865 | 123.8948 | 1.63E-13 |
|                                                           | Panelist(block) | 0.727188 | 7  | 0.103884 | 0.947862 | 0.492263 |
|                                                           | Error           | 2.301563 | 21 | 0.109598 |          |          |
|                                                           | Total           | 4445.33  | 32 |          |          |          |
| <b>ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40</b> |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ                                                 | Treatment       | 47.86667 | 5  | 9.573333 | 310.2469 | 6.12E-28 |
|                                                           | Panelist(block) | 0.82     | 7  | 0.117143 | 3.796296 | 0.003641 |
|                                                           | Error           | 1.08     | 35 | 0.030857 |          |          |
|                                                           | Total           | 3837.62  | 48 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 32 (ต่อ)

| การวิเคราะห์                           | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|----------------------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความแน่นเนื้อ                          | Treatment       | 21.275   | 5  | 4.255    | 54.98769 | 1.37E-15 |
|                                        | Panelist(block) | 2.369167 | 7  | 0.338452 | 4.373846 | 0.00142  |
|                                        | Error           | 2.708333 | 35 | 0.077381 |          |          |
|                                        | Total           | 6866.54  | 48 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น                           | Treatment       | 129.686  | 5  | 25.93721 | 233.2308 | 7.87E-26 |
|                                        | Panelist(block) | 0.361458 | 7  | 0.051637 | 0.464326 | 0.853499 |
|                                        | Error           | 3.892292 | 35 | 0.111208 |          |          |
|                                        | Total           | 5717.55  | 48 |          |          |          |
| ความชุ่ม                               | Treatment       | 61.03167 | 5  | 12.20633 | 119.6141 | 5.58E-21 |
|                                        | Panelist(block) | 1.395833 | 7  | 0.199405 | 1.954036 | 0.090171 |
|                                        | Error           | 3.571667 | 35 | 0.102048 |          |          |
|                                        | Total           | 6354.34  | 48 |          |          |          |
| ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีอิ๊มซีร้อยละ 0.3 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ                              | Treatment       | 82.82179 | 6  | 13.80363 | 145.3144 | 1.88E-26 |
|                                        | Panelist(block) | 0.534107 | 7  | 0.076301 | 0.803241 | 0.589267 |
|                                        | Error           | 3.989643 | 42 | 0.094991 |          |          |
|                                        | Total           | 5105.31  | 56 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ                          | Treatment       | 38.46214 | 6  | 6.410357 | 146.7221 | 1.55E-26 |
|                                        | Panelist(block) | 0.80125  | 7  | 0.114464 | 2.619891 | 0.024392 |
|                                        | Error           | 1.835    | 42 | 0.04369  |          |          |
|                                        | Total           | 7911.87  | 56 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น                           | Treatment       | 177.9811 | 6  | 29.66351 | 408.8162 | 1.38E-35 |
|                                        | Panelist(block) | 1.29125  | 7  | 0.184464 | 2.542248 | 0.028212 |
|                                        | Error           | 3.0475   | 42 | 0.07256  |          |          |
|                                        | Total           | 6565.97  | 56 |          |          |          |
| ความชุ่ม                               | Treatment       | 42.325   | 6  | 7.054167 | 83.67662 | 9.47E-22 |
|                                        | Panelist(block) | 0.755536 | 7  | 0.107934 | 1.280311 | 0.28337  |
|                                        | Error           | 3.540714 | 42 | 0.084303 |          |          |
|                                        | Total           | 7598.23  | 56 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง  
ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56

| การวิเคราะห์                                                    | Source    | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>                                            |           |          |    |          |          |          |
| <b>ขนมจีนแป้งหมักปกติ</b>                                       | Treatment | 3441.506 | 7  | 491.6437 | 1063.959 | 2.35E-43 |
|                                                                 | Error     | 18.48356 | 40 | 0.462089 |          |          |
|                                                                 | Total     | 3459.989 | 47 |          |          |          |
| <b>ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ<br/>ผสานเนื้อร้อยละ 40</b> | Treatment | 656.6737 | 8  | 82.08421 | 141.7961 | 2.66E-29 |
|                                                                 | Error     | 26.05    | 45 | 0.578889 |          |          |
|                                                                 | Total     | 682.7237 | 53 |          |          |          |
| <b>ขนมจีนแป้งหมักผสมกัม<br/>ซีเอ็มซีร้อยละ 0.3</b>              | Treatment | 719.8657 | 8  | 89.98321 | 218.1405 | 2.31E-33 |
|                                                                 | Error     | 18.56255 | 45 | 0.412501 |          |          |
|                                                                 | Total     | 738.4283 | 53 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>                                             |           |          |    |          |          |          |
| <b>ขนมจีนแป้งหมักปกติ</b>                                       | Treatment | 197.4315 | 7  | 28.20449 | 222.887  | 5.66E-30 |
|                                                                 | Error     | 5.061667 | 40 | 0.126542 |          |          |
|                                                                 | Total     | 202.4931 | 47 |          |          |          |
| <b>ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ<br/>ผสานเนื้อร้อยละ 40</b> | Treatment | 30.06333 | 8  | 3.757917 | 24.33183 | 6.13E-14 |
|                                                                 | Error     | 6.95     | 45 | 0.154444 |          |          |
|                                                                 | Total     | 37.01333 | 53 |          |          |          |
| <b>ขนมจีนแป้งหมักผสมกัม<br/>ซีเอ็มซีร้อยละ 0.3</b>              | Treatment | 50.47947 | 8  | 6.309933 | 24.75688 | 4.5E-14  |
|                                                                 | Error     | 11.46942 | 45 | 0.254876 |          |          |
|                                                                 | Total     | 61.94888 | 53 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง  
ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56

| การวิเคราะห์              | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|---------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>ขนมจีนแป้งหมักปกติ</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>          | Treatment       | 20.01359 | 7  | 2.859085 | 38.83273 | 7.24E-18 |
|                           | Panelist(block) | 1.073594 | 7  | 0.153371 | 2.083113 | 0.063104 |
|                           | Error           | 3.607656 | 49 | 0.073626 |          |          |
|                           | Total           | 4954.49  | 64 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 34 (ต่อ)

| การวิเคราะห์                                         | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|------------------------------------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| ความแน่นเนื้อ                                        | Treatment       | 55.97592 | 7  | 7.99656  | 72.47819 | 2.46E-23 |
|                                                      | Panelist(block) | 0.906276 | 7  | 0.129468 | 1.173455 | 0.335573 |
|                                                      | Error           | 5.295867 | 48 | 0.110331 |          |          |
|                                                      | Total           | 8430.79  | 63 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น                                         | Treatment       | 166.5725 | 7  | 23.79607 | 260.9978 | 1.64E-36 |
|                                                      | Panelist(block) | 1.48     | 7  | 0.211429 | 2.31897  | 0.039918 |
|                                                      | Error           | 4.4675   | 49 | 0.091173 |          |          |
|                                                      | Total           | 8164.88  | 64 |          |          |          |
| ความชุ่ม                                             | Treatment       | 62.86359 | 7  | 8.980513 | 73.21692 | 9.58E-24 |
|                                                      | Panelist(block) | 2.386094 | 7  | 0.340871 | 2.779072 | 0.016255 |
|                                                      | Error           | 6.010156 | 49 | 0.122656 |          |          |
|                                                      | Total           | 8755.17  | 64 |          |          |          |
| ขนมจิ้นทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ร้อยละ40 |                 |          |    |          |          |          |
| ความเรียบ                                            | Treatment       | 12.395   | 8  | 1.549375 | 12.30031 | 5.73E-10 |
|                                                      | Panelist(block) | 1.599861 | 7  | 0.228552 | 1.814444 | 0.102451 |
|                                                      | Error           | 7.053889 | 56 | 0.125962 |          |          |
|                                                      | Total           | 6343.55  | 72 |          |          |          |
| ความแน่นเนื้อ                                        | Treatment       | 0.683611 | 8  | 0.085451 | 1.633355 | 0.136103 |
|                                                      | Panelist(block) | 1.652778 | 7  | 0.236111 | 4.513132 | 0.000481 |
|                                                      | Error           | 2.929722 | 56 | 0.052316 |          |          |
|                                                      | Total           | 9504.28  | 72 |          |          |          |
| ความยืดหยุ่น                                         | Treatment       | 14.82611 | 8  | 1.853264 | 25.0515  | 6.97E-16 |
|                                                      | Panelist(block) | 0.990972 | 7  | 0.141567 | 1.913638 | 0.084421 |
|                                                      | Error           | 4.142778 | 56 | 0.073978 |          |          |
|                                                      | Total           | 10128.01 | 72 |          |          |          |
| ความชุ่ม                                             | Treatment       | 32.35944 | 8  | 4.044931 | 46.90314 | 4.53E-22 |
|                                                      | Panelist(block) | 2.654306 | 7  | 0.379187 | 4.396871 | 0.000601 |
|                                                      | Error           | 4.829444 | 56 | 0.08624  |          |          |
|                                                      | Total           | 8736.45  | 72 |          |          |          |

ตารางภาคผนวกที่ ง 34 (ต่อ)

| การวิเคราะห์                                  | Source          | SS       | df | MS       | F        | Sig      |
|-----------------------------------------------|-----------------|----------|----|----------|----------|----------|
| <b>ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีอิ๊มซีร้อยละ 0.3</b> |                 |          |    |          |          |          |
| <b>ความเรียบ</b>                              | Treatment       | 19.66778 | 8  | 2.458472 | 30.8918  | 7.25E-18 |
|                                               | Panelist(block) | 0.848333 | 7  | 0.12119  | 1.522812 | 0.178512 |
|                                               | Error           | 4.456667 | 56 | 0.079583 |          |          |
|                                               | Total           | 7766.8   | 72 |          |          |          |
| <b>ความแน่นเนื้อ</b>                          | Treatment       | 1.68     | 8  | 0.21     | 5.276171 | 6.06E-05 |
|                                               | Panelist(block) | 1.509861 | 7  | 0.215694 | 5.419242 | 8.77E-05 |
|                                               | Error           | 2.228889 | 56 | 0.039802 |          |          |
|                                               | Total           | 8631.83  | 72 |          |          |          |
| <b>ความยืดหยุ่น</b>                           | Treatment       | 41.10694 | 8  | 5.138368 | 60.68157 | 8.42E-25 |
|                                               | Panelist(block) | 2.364306 | 7  | 0.337758 | 3.988753 | 0.00133  |
|                                               | Error           | 4.741944 | 56 | 0.084678 |          |          |
|                                               | Total           | 10914.05 | 72 |          |          |          |
| <b>ความชุ่ม</b>                               | Treatment       | 8.556944 | 8  | 1.069618 | 53.97622 | 1.51E-23 |
|                                               | Panelist(block) | 0.646528 | 7  | 0.092361 | 4.660826 | 0.000362 |
|                                               | Error           | 1.109722 | 56 | 0.019816 |          |          |
|                                               | Total           | 8786.23  | 72 |          |          |          |

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ –นามสกุล                  | นายมนต์ราม อินทศิริ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด           | วันที่ 20 สิงหาคม 2523                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| สถานที่เกิด                    | จังหวัด สงขลา                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ประวัติการศึกษา                | วิทยาศาสตรบัณฑิต<br>(วิทยาศาสตรการอาหารและโภชนาการ)<br>มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ปัตตานี) พ.ศ.2546                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน   | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน           | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | 1. การเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่อง Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented rice ( <i>Oryza sativa</i> ) flour ใน การประชุม สัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 7 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548<br>2. การเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่อง The modification of fermented rice ( <i>Oryza sativa</i> ) flour by annealing treatment for ready-to-eat Kanomjeen ใน Starch Update 2005: The 3 <sup>rd</sup> Conference on Starch Technology, November 4-5, 2005. |
| ทุนการวิจัยที่ได้รับ           | ทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ปีงบประมาณ 49-50)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |