ผลของการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว
ต่อความไม่สดในขนมปัง

นางสาวปริยาพร ชุนดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-5530-9
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF PARTIAL SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR BY NATIVE AND RETROGRADED TAPIOCA STARCHES ON BREAD STALING

Miss Priyaporn Choondee

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5530-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อความไม่สดในขนมปัง
โดย	นางสาวปริยาพร ชุนดี
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล กีรติพิบูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…..…… คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…..……ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

…..……อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล กีรติพิบูล)

…..……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช)

…..……กรรมการ
(นางวันทนา สุขตลอดชีพ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริยาพร ชุนดี : ผลของการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อความไม่สดในขนมปัง (EFFECT OF PARTIAL SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR BY NATIVE AND RETROGRADED TAPIOCA STARCHES ON BREAD STALING)
อ.ที่ปรึกษา : ผ.ศ. ดร.สุวิมล กีรติพิบูล จำนวนหน้า 112 หน้า. ISBN 974-17-5530-9

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อการชะลอความไม่สด (staling) ในขนมปัง เนื่องจากวัตถุดิบหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง จึงนำแป้งที่ใช้มาวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส พบว่าแป้งสาลีมีอะมิโลส 27.98±0.57% และแป้งมันสำปะหลังมีอะมิโลส 18.35±0.32% จากนั้นศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งสาลีในสูตรต่อคุณภาพของขนมปัง โดยผสมแป้งเป็น 4 สูตรได้แก่ สูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ 0 (สูตรควบคุม), 5, 10 และ 15%(w/w) ตามลำดับ วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพในการเกิดโด (dough) ของแป้งผสมด้วยเครื่อง Farinograph และ Extensograph พบว่าแป้งผสมสูตรควบคุมมีค่า water absorption และระยะเวลาของ dough development สูงสุดและมีแนวโน้มลดลงตามลำดับในสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี แต่ dough stability มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากนั้นทำขนมปังจากแป้งผสมทั้ง 4 สูตร แล้ววิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณความชื้นของขนมปังอยู่ในช่วง 39-41% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในแต่ละสูตร ปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 0, 5, 10 และ 15% เท่ากับ 4.65±0.21, 4.46±0.33, 4.36±0.39 และ 3.64±0.36 cm^3/g ตามลำดับโดยปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลี 15% น้อยกว่าสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และค่า oven spring ของขนมปังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 13.67±0.67, 19.58±0.91, 20.82±0.52 และ 21.53±0.84% ตามลำดับ ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังทั้ง 4 สูตรเป็น 5.30±0.48, 5.60±0.81, 5.43±0.57 และ 4.70±0.48 ตามลำดับ โดยคะแนนการยอมรับโดยรวมในสูตรที่ทดแทนแป้งสาลี 15% น้อยกว่าสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และคะแนนทางประสาทสัมผัสของขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลี 5% มีแนวโน้มสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% สำหรับการทดลองขั้นตอนต่อไป จากนั้นศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อคุณภาพของขนมปังในด้านความสด โดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวซึ่งได้จากการนำเจลแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 10%(w/v) ที่เก็บไว้ให้เกิดการคืนตัวที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 1, 7, 14 และ 35 วัน ผ่านการทำแห้งโดยวิธี freeze drying แล้วบดให้เป็นผง ในการศึกษาสมบัติทางความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืดต่ำกว่าและมีความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาลี โดยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 35 วันมีค่าความหนืดสูงสุดสูงที่สุด รองลงมาคือแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14, 7 และ 1 วันตามลำดับ และพบว่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด ความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายของแป้งคืนตัว 1 และ 7 วันมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงเลือกแป้งคืนตัว 1, 14 และ 35 วันมาทดแทนแป้งสาลีเป็นปริมาณ 5% ในการทำขนมปัง วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งผสมด้วยเครื่อง Farinograph และ Extensograph พบว่าสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังคืนตัวเป็นส่วนผสมให้ค่า water absorption และค่า tolerance index เพิ่มขึ้น และมีค่า dough development, dough stability และค่า time to breakdown ลดลงจากสูตรควบคุมและสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังดิบเป็นส่วนผสม จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่ได้ พบว่าแต่ละสูตรมีค่าความชื้นและปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีค่า oven spring แตกต่างกัน คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ ความสม่ำเสมอของเซลล์อากาศ การเด้งคืนตัว ความชุ่มชื้น ความแข็งและการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บขนมปังไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 วันและสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความแข็ง ความชื้น และทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกวัน พบว่าความชื้นของขนมปังลดลงและค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระยะการเก็บเพิ่มขึ้น โดยปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมและสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะการเก็บ ในวันที่ 1 ของการเก็บขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบเริ่มมีค่าความแข็งมากกว่าสูตรควบคุม และตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าความแข็งน้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่อเก็บขนมปังเป็นเวลา 6 วัน คะแนนทางประสาทสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยผู้ทดสอบสามารถสังเกตความแตกต่างของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวจากสูตรควบคุมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บ และพบว่าขนมปังสูตรที่ผสมแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7 และ 35 วันมีคะแนนด้านประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ตลอดระยะเวลาการเก็บ เมื่อวิเคราะห์การรีโทรเกรดของเนื้อขนมปังด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่าขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าเอนธาลปีน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุมและสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบหลังจากการเก็บเป็นเวลา 6 วัน ดังนั้นการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวในปริมาณ 5% จึงช่วยชะลอการเกิดความไม่สดในขนมปังลงได้

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4372328123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : BREAD / STALING / TAPIOCA STARCH / RETROGRADE

PRIYAPORN CHOONDEE : EFFECT OF PARTIAL SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR BY NATIVE AND RETROGRADED TAPIOCA STARCHES ON BREAD STALING. THESIS ADVISOR : SUWIMON KEERATIPIBUL, Ph.D., 112 pp. ISBN 974-17-5530-9

The objective of this research was to study the use of tapioca starch and retrograded tapioca starch in bread production to reduce staling. Since wheat flour and tapioca starch were main raw materials used in this research. Firstly, wheat flour and tapioca starch were analyzed for amylose content. It was found that wheat flour and tapioca starch contained 27.98±0.57% and 18.35±0.32% amylose respectively. Secondly, wheat flour, which was used for bread making, was partly substituted by tapioca starch. The substitution levels were 0 (control), 5, 10 and 15% (w/w) resulting in 4 formulae for bread making. Physical properties of dough development were evaluated by Farinograph and Extensograph methods. The result showed that control formula had the highest water absorption and dough development time. These values tended to decrease as substitution levels increased. However, dough stability tended to increase. Baking test of the 4 formulae was then carried out. Physical and chemical properties of bread were analyzed. The results indicated that moisture content of bread crumbs ranged from 39-41% and showed no significant difference between formulae. Specific volumes of breads were 4.65±0.21, 4.46±0.33, 4.36±0.39 and 3.64±0.36 cm^3/g and oven springs were 13.67±0.67, 19.58±0.91, 20.82±0.52 and 21.53±0.84% in breads with 0, 5, 10 and 15% flour substituted with tapioca starch respectively. Consequently, increasing the percentage of tapioca starch in bread formula resulted in a decrease in loaf volume. Overall acceptance was evaluated by semi-trained panelists using scoring method. Sensory scores were 5.30±0.48, 5.60±0.81, 5.43±0.57 and 4.70±0.48 in breads with 0, 5, 10 and 15% flour substitution respectively. The result showed that bread with 15% substitution significantly obtained lowest score, whereas bread with 5% substitution tended to obtain the highest score. Therefore, a substitution level of 5% was used for further experiments. Thirdly, wheat flour was replaced with native and retrograded tapioca starches in bread formula to study their effects on bread staling. Retrograded starch was prepared by storing tapioca starch paste (10% w/v concentration) at 5 °C for 1, 7, 14 and 35 days. Then retrograded starch pastes were freeze-dried and ground to powder. Viscosities of wheat flour, native and retrograded tapioca starches were evaluated by Rapid Visco Analyzer (RVA). The viscograms showed lower pasting temperature, but higher peak viscosity in every retrograded starch than in native tapioca starch and wheat flour. The highest peak viscosity was found in 35 day-retrograded starch, followed by 14, 7 and 1 day-retrograded starches respectively. In terms of pasting temperature, peak and final viscosities, it was found that 1 and 7 day-retrograded starches showed similar viscosity profiles. Therefore, 1, 14 and 35 day-retrograded starches were chosen for flour substitution at a level of 5%. Properties of dough were then examined by Farinograph and Extensograph methods. The result showed that formulae with retrograded starches had higher water absorption and tolerance index than control formula and one with native tapioca starch. However, formulae with retrograded starches had lower dough development time, dough stability and time to breakdown. Baking test was once again carried out.. The breads showed significant difference in oven spring but no difference in moisture content and specific volume between each formula. Sensory scores in taste, uniformity of cells, springiness, moistness, hardness and overall acceptance obtained from scaling method, showed no significant difference. Hardness, moisture content and sensory evaluation of breads were measured before and during 6 days of storage at room temperature. Measured parameters significantly indicated that stored breads had a decrease in moisture but an increase in hardness. However, moisture content in control bread and breads with retrograded starches showed no significant difference throughout the storage time. After 1 day of storage, bread with native tapioca starch showed higher hardness value than control bread ($p \leq 0.05$). Breads with retrograded tapioca starches significantly had lower hardness than control after 3 days of storage. An increase in storage time resulted in a decrease of sensory scores. Control bread gained lower score than ones with retrograded starches after 4 days of storage ($p \leq 0.05$). Whilst breads with 1,7 and 35 day-retrograded starches had no significant difference and were organoleptically accepted throughout the period of storage. Finally, thermal characteristic of retrograded bread crumb was investigated by Differential Scanning Calorimeter (DSC). Bread with retrograded starch showed lower enthalpy required for melting of crystalline zones of starch. Research results could be concluded that partial substitution of wheat flour by retrograded tapioca starch retarded staling and allowed bread to have extended shelf life.

Department Food Technology — Student's signature.....

Field of study Food Technology — Advisor's signature.....

Academic year 2003 — Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล กีรติพิบูล ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช และคุณวันทนา สุขตลอดชีพ ที่ได้ให้ความรู้ ข้อคิดเห็น ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบคุณคุณผานิต งามเกริกโชติ คุณวันทนา สุขตลอดชีพ คุณศุภชัย ศมาเศรษฐ์ พนักงานฝ่ายประกันคุณภาพทุกท่าน และบริษัทยูไนเต็ด ฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน) สำหรับความอนุเคราะห์ด้านวัตถุดิบในงานวิจัย การวิเคราะห์ และความรู้เรื่องแป้งและการทำขนมปังที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยนี้ คุณแววตา สมมิตร และบริษัทสยามพรีเสิร์ฟ ฟูดส์ จำกัด สำหรับความช่วยเหลือในการทำวิจัย บริษัท อี๊สต์เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีบางชนิดเพื่อใช้ในงานวิจัย และคุณปิยวรรณ สุรัญชนาจิรสกุล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ความช่วยเหลือด้านการวิเคราะห์เป็นอย่างดีและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นผู้ให้ทุกอย่างและคอยเป็นกำลังใจอย่างไม่รู้จักเหน็ดเหนื่อย

ขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ญ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....3
3. วิธีการทดลอง.....37
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....50
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....81
รายการอ้างอิง.....84
ภาคผนวก.....88
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ.....89
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี.....99
ภาคผนวก ค แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส.....102
ภาคผนวก ง Farinogram และ Extensogram
ของแป้งผสมชนิดต่างๆ.....104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....112

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 อัตราส่วนของก๊าซผสมสำหรับการเก็บผลิตภัณฑ์ขนมอบ.....30
2.2 อายุการเก็บของขนมอบที่เก็บภายใต้บรรยากาศของก๊าซ.....31
4.1 ปริมาณอะมิโลสในแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง.....50
4.2 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง
ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser.....52
4.3 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลีและแป้งสาลีผสม
แป้งมันสำปะหลังดิบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Farinograph.....54
4.4 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลีและแป้งสาลีผสม
แป้งมันสำปะหลังดิบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Extensograph.....55
4.5 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งสาลี แป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง
คืนตัวที่ระยะ เวลาต่างๆด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser.....60
4.6 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลี แป้งสาลีผสม
แป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลังคืนตัว
จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Farinograph.....63
4.7 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลี แป้งสาลีผสม
แป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลังคืนตัว
จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Extensograph.....64
4.8 เวลาที่ใช้นวดโดของขนมปังสูตรต่างๆ.....65
4.9 ปริมาณความชื้นในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0–6 วัน.....70
4.10 ค่า Hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....72
4.11 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Hardness
ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....73
4.12 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Moistness
ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

4.13 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Springiness
ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....77
4.14 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม
ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....79
4.15 เอนธาลปีของการละลายส่วนผลึกของแป้งขนมปังที่เกิดการรีโทรเกรด
จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC.....80
ก.1 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA.....90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

2.1 รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ....4
2.2 ลักษณะการเกิด Birefringence ของเม็ดแป้ง....6
2.3 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่างๆ....7
2.4 โครงสร้างของอะมิโลส....9
2.5 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน....10
2.6 การเปลี่ยนแปลงของขนมปังขณะอบ....21
2.7 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างขนมปังที่ผ่านการอบเป็นเวลาต่างๆ....22
2.8 กลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแป้งในการเกิด Staling ในขนมปัง....25
2.9 ผลของการใช้ไขมันและไขมันร่วมกับเซอร์แฟคแทนท์ต่ออัตราการเพิ่ม
ของความแข็งของเนื้อขนมปัง....32
3.1 บริเวณเนื้อขนมปังที่เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความชื้น....44
3.2 การเตรียมแป้งมันสำปะหลังคืนตัว....45
3.3 การวิเคราะห์การรีโทรเกรดของเนื้อขนมปัง....48
4.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง....51
4.2 ปริมาณความชื้นในเนื้อขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย
แป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ....56
4.3 Oven spring ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย
แป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ....57
4.4 Specific volume ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย
แป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ....58
4.5 คะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย
แป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ....59
4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ....61
4.7 ปริมาณ Moisture Content ในขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5%
ด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว....66
4.8 Oven Spring ในขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลัง
และแป้งมันสำปะหลังคืนตัว....67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.9 Specific Volume ในขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังคืนตัว.....67
4.10 คะแนนทางลักษณะสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังคืนตัว.....68
4.11 Moisture Content ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....70
4.12 ค่า Hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....71
4.13 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....73
4.14 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Moistness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....75
4.15 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Springiness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....77
4.16 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน.....78
ก.1 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA.....91
ก.2 เครื่อง Brabender Farinograph.....93
ก.3 Farinogram.....93
ก.4 เครื่อง Extensograph.....95
ก.5 Extensogram.....95
ก.6 ลักษณะ Thermogram ที่ได้จากเครื่อง DSC.....98
ง.1 Farinogram ของแป้งผสมชนิดต่างๆ 104
ง.2 Extensogram ของแป้งผสมชนิดต่างๆ 108

บทที่ 1

บทนำ

ขนมปังเป็นอาหารหลักของประชากรในหลายประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยซึ่งได้รับวัฒนธรรมการบริโภคขนมปังจากตะวันตกทำให้การบริโภคขนมปังเป็นที่นิยมและมีการเพิ่มจำนวนการบริโภคอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นกับขนมปังคือการเกิดความไม่สด (staling) ในขนมปัง โดยมีสาเหตุหลักมาจากปรากฏการณ์การคืนตัวของแป้งสุก (retrogradation) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมปัง (Zobel and Kulp, 1996) ทำให้ขนมปังมีการสูญเสียความชื้น กลิ่นหอม และรสชาติในระหว่างการเก็บ นอกจากนั้นเนื้อขนมปังจะแข็งกระด้างขึ้น (Pomeranz and Shallenberger, 1971) ผู้บริโภคสามารถสังเกตความไม่สดนี้ได้จากการสังเกตด้วยตาเปล่า เนื่องจากเนื้อขนมปังที่เกิด staling จะมีลักษณะเป็นแป้งขุ่นขาวกว่าขนมปังที่ผลิตขึ้นมาใหม่ และผู้บริโภคยังสามารถสัมผัสได้โดยการบีบขนมปังเพื่อพิจารณาความนุ่มของขนมปัง ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ผู้บริโภคใช้ตัดสินความสดใหม่ของขนมปังและมีผลอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Watson and Boyle, 1996)

เนื่องจากการเกิด staling ในขนมปังที่ผ่านการเก็บรักษามาเป็นระยะเวลาหนึ่ง ทำให้เกิดมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการชะลอการเกิด staling ในขนมปังและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การเติมสารเคมีประเภทเซอร์แฟคแทนท์ (surfactants) การเติมสารเสริมคุณภาพขนมปัง (bread improvers) หรือการใช้เอนไซม์ (enzymes) การเติมแป้งธรรมชาติหรือแป้งดิบ (native starch) และแป้งดัดแปร (modified starch) ชนิดต่างๆ เป็นต้น โดยวิธีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งดิบและแป้งดัดแปรในผลิตภัณฑ์ขนมอบจัดเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับเนื่องจากช่วยคงความสดและยืดระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ และนอกจากการเติมแป้งดิบและแป้งดัดแปรจะลดการเกิด staling ลงแล้ว ยังส่งผลให้มีการใช้ปริมาณสารเคมีในผลิตภัณฑ์ขนมอบลดลงอีกด้วย (Ortega-Ojeda and Eliasson, 2001) โดยแป้งดิบและแป้งดัดแปรจะช่วยปรับสมดุลของปริมาณอะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกติน (amylopectin) ในส่วนผสม (Karaoglu, Kotancilar and Celik, 2001) นอกจากนี้แป้งบางชนิด เช่น แป้งคืนตัว ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลาติไนเซชัน (degree of gelatinization) ของแป้งในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ทำให้ส่วนของแป้งในผลิตภัณฑ์เกิดการคืนตัวช้าลง (Hibi, 2001)

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ เกิดการคืนตัวได้น้อย และเป็นแป้งที่ผลิตได้มากในประเทศไทย มีราคาถูกกว่าแป้งสาลี เนื่องจากแป้งสาลีเป็นแป้งที่ต้องมีการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาแพง แต่ทั้งนี้การนำแป้งมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ใน

อุตสาหกรรมอาหารมีไม่มากนัก คือมีเพียงประมาณ 2% ของปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ทั้งหมด (สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2540 อ้างถึงในกล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) และจากข้อได้เปรียบของแป้งคืนตัวที่มีประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์ขนมปังในด้านความสด รวมทั้งความพร้อมและการพัฒนาของอุตสาหกรรมการทำแห้งโดยวิธี freeze drying ในประเทศไทย โครงงานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางการนำแป้งมันสำปะหลังทั้งในรูปของแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธี freeze drying มาใช้ชะลอการเกิด staling ในผลิตภัณฑ์ขนมปังขาว ซึ่งเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีในการผลิตขนมปังทางการค้าและขยายการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมอาหารให้กว้างขวางขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาของงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. เพื่อศึกษาปริมาณอะมิโลสและสมบัติทางการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลังขณะให้ความร้อน การเกิดเจลาติไนเซชัน และการคืนตัวของแป้ง
2. เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดแทนแป้งสาลีเพื่อผลิตขนมปังขาวที่มีคุณภาพใกล้เคียงหรือเทียบเท่าการผลิตจากแป้งสาลี
3. เพื่อศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อคุณภาพในด้านความสดของขนมปัง
4. เพื่อเสนอแนวทางในการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อคุณภาพด้านความสดของขนมปังและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมการผลิตขนมปัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

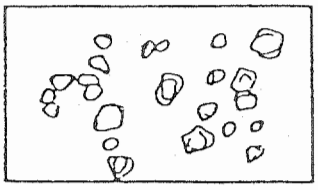
2.1 แป้งและสมบัติทั่วไปของแป้ง

แป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืช พบทั้งในเมล็ด ผล ราก ลำต้น และใบของพวกธัญพืช ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวเจ้า และข้าวสาลี และในพืชที่ไม่ใช่ธัญพืช ได้แก่ มันสำปะหลัง มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งจากพืชแหล่งต่างกันนั้นจะมีสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันทางด้านสมบัติเฉพาะตัวบางอย่าง ซึ่งทำให้แป้งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบแป้งจากแหล่งต่างๆ โดยกล้องจุลทรรศน์ แป้งแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง (starch granule) การดูดซึมน้ำ การพองตัว การละลาย อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน การคืนตัว และความหนืดของแป้งเปียกแตกต่างกัน (Alais and Linden, 1991; กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

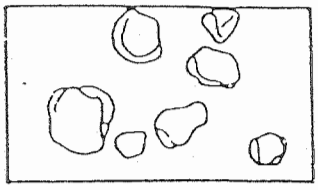
2.1.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งจากแหล่งพืชต่างๆกันจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน ขนาดของเม็ดแป้งนั้นจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5-150 ไมครอน ตัวอย่างรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งชนิดต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.1 แป้งข้าวเจ้ามีขนาดของเม็ดแป้งเล็กที่สุด คือ 3-8 ไมครอน มีรูปร่างแบนหลายเหลี่ยม เม็ดแป้งมันฝรั่งมีขนาดใหญ่ที่สุดและมีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ คือ 15-100 ไมครอน เม็ดแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดจะมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 25 ไมครอน โดยเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างกลมในขณะที่เม็ดแป้งข้าวโพดจะมีรูปร่างกลม แบน หรือหลายเหลี่ยม สำหรับแป้งสาลีนั้น ขนาดของเม็ดแป้งจะมีทั้งเล็กและใหญ่ มีรูปร่างกลมค่อนข้างรี เม็ดแป้งสาลีขนาดเล็กมีขนาดประมาณ 0.5-10 ไมครอน และเม็ดแป้งสาลีขนาดใหญ่มีขนาดประมาณ 10-45 ไมครอน

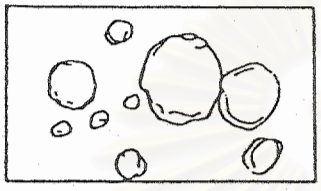
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



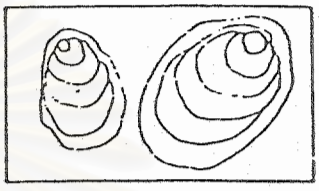
Rice, 3–8 μm



Maize, 2–25 μm



Wheat, 2–35 μm



Potato, 15–100 μm

ที่มา: Alais and Linden, 1991

รูปที่ 2.1 รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ

2.1.2 <u>การดูดซึมน้ำ การพองตัว และการละลายของแป้ง</u>

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10-17%

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ (gelatinization temperature) เนื่องจากส่วนผลึก (crystalline) ของเม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของแป้งอย่างเป็นระเบียบและหนาแน่น ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำเข้าไปในเม็ดแป้งได้ยาก แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิวิกฤตหรืออุณหภูมิเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลแป้งจะถูกทำลายทำให้โมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งจะดูดน้ำและเกิดการพองตัวทำให้แป้งมีการละลายเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันส่วนผสมแป้งจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีความใสเพิ่มขึ้น

เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีการเรียงตัวของส่วนผลึกในเม็ดแป้งต่างกัน ดังนั้นเมื่อเริ่มเกิดการเจลาติไนซ์ แป้งแต่ละชนิดจะให้ความหนืดแตกต่างกัน ปัจจัยตามธรรมชาติที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งมีหลายประการ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ได้แก่

ก) ชนิดของแป้ง โดยแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งสาลี มีจำนวนพันธะไฮโดรเจนสูงสุด มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ขั้นอันเกิดจากแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือพันธะบริเวณส่วนผลึก (crystalline region) และส่วนอสัณฐาน (amorphous region) ของเม็ดแป้ง นอกจากนั้นแป้งสาลียังมีปริมาณอะมิโลสสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหภายในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ดังนั้นแป้งสาลีจึงมีความสามารถในการพองตัวและการละลายต่ำสุด แป้งจากส่วนราก เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีความสามารถในการพองตัวและการละลายสูงกว่าแป้งจากธัญพืช และเนื่องจากโมเลกุลแป้งมันสำปะหลังมีจำนวนพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า จึงมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง มีความสามารถในการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น ดังนั้นการพองตัวจากแป้งจากส่วนหัวจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ

ข) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง ซึ่งขึ้นกับขนาด รูปร่าง ส่วนประกอบและการกระจายตัวของร่างแหภายในเม็ดแป้ง อัตราส่วนระหว่างปริมาณอะมิโลสและปริมาณอะมิโลเพกติน (amylopectin) ในเม็ดแป้ง น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัวและความยาวของสาขาของโมเลกุลอะมิโลเพกติน

ค) สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต โดยแป้งที่มีไขมันน้อยกว่าจะมีการพองตัวดีกว่าแป้งที่มีไขมันมาก เนื่องจากไขมันในธรรมชาติจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส หรือเรียกว่า amylose-lipid complex เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ช้า

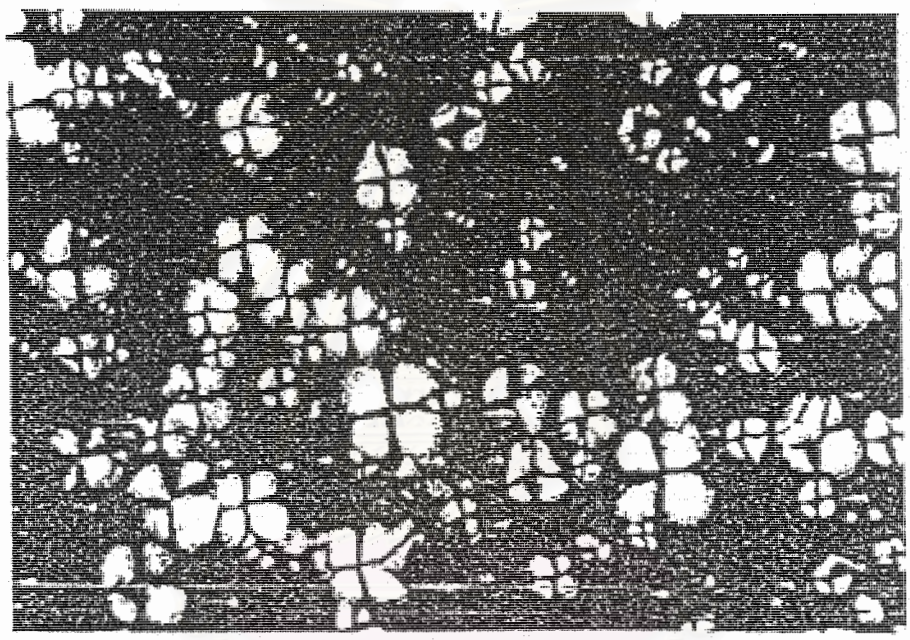
2.1.3 <u>การเกิดเจลาติไนเซชัน</u>

เมื่อให้ความร้อนกับสารแขวนลอยแป้ง พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลแป้งจะแตกออก เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด หรือ pasting temperature ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด โดยแป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง จะมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากองค์ประกอบของแป้ง เช่น

ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในแป้ง การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้งแตกต่างกันไปในแป้งแต่ละชนิด

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง แบ่งได้ 3 ระยะคือ

ก) ระยะแรก เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและความสามารถในการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรส์ (polarised light) ซึ่งทำให้เกิดลักษณะเฉพาะที่เรียก Birefringence เป็นรูปกากบาทสีดำบนพื้นสีขาวเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงโพลาไรส์ แสดงลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้งในรูปที่ 2.2



ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543

รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิด Birefringence ของเม็ดแป้ง

ข) ระยะที่สอง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ทำให้เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและลักษณะ Birefringence หมดไป ความหนืดของสารแขวนลอยแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมานอกเม็ดแป้ง

ค) ระยะที่สาม รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำแป้งเปียกไปทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล

2.1.4 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่

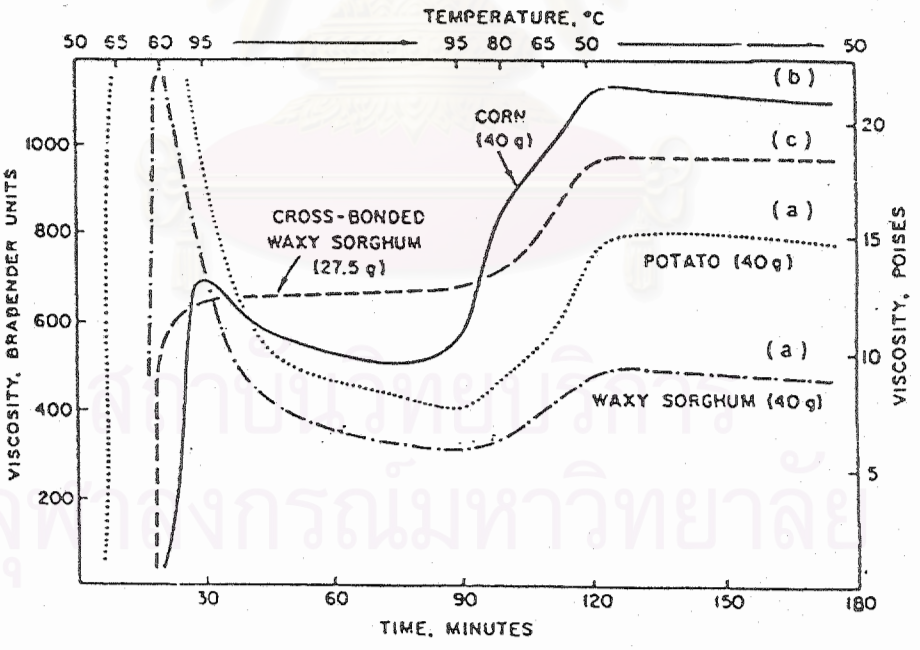
ก) ชนิดของแป้ง โดยสามารถแบ่งประเภทของแป้งตามรูปแบบของกราฟแสดงความหนืด ดังนี้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

1) แบบ a คือ แป้งที่มีความสามารถในการพองตัวสูง ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวฟ่าง (waxy sorghum) ซึ่งกราฟความหนืดจะมีลักษณะสูงชันแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุกเนื่องจากเม็ดแป้งพองตัวสูง แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลงทำให้เกิดการแตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน

2) แบบ b คือ แป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นแตกออก จึงมีกราฟความหนืดลักษณะสูงชันน้อยกว่า

3) แบบ c คือ แป้งที่มีการพองตัวน้อย ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ หรือ แป้งครอสลิง (cross-linking starch) ลักษณะกราฟความหนืดไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด

แสดงลักษณะกราฟความหนืดของแป้งชนิดต่างๆดังรูปที่ 2.3



ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543

รูปที่ 2.3 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่างๆ

ข) การดัดแปรแป้ง การดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆกัน ส่งผลต่อความหนืดของแป้ง เช่น แป้งพรีเจล (pregelatinized starch) สามารถกระจายตัวในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้อง ให้ความหนืดได้ทันที แป้งที่ดัดแปรโดยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) มีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบและสามารถคงความหนืดไว้ได้ดี มีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดต่ำกว่าแป้งดิบ เป็นต้น

ค) ขนาดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่ใหญ่มีความสามารถในการพองตัวสูง และให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูง

ง) ปริมาณอะมิโลส แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง มีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูง เนื่องจากปริมาณอะมิโลสทำให้เกิดการคืนตัวของแป้งสุกหรือเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) สูง

2.1.5 <u>การเกิดรีโทรเกรเดชัน</u>

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัวของแป้ง

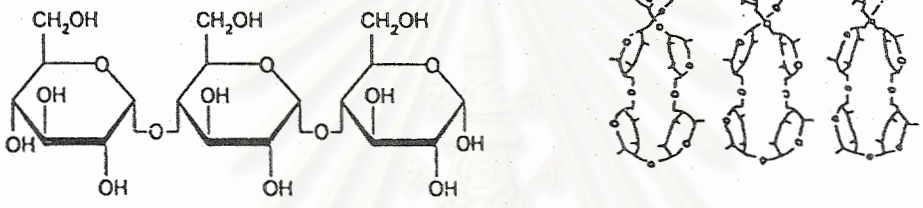
การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการระบายความร้อน อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินและองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆในแป้ง โดยในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งจะสามารถคืนตัวได้ดี

สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องมาจากในแป้งธัญพืชมีปริมาณอะมิโลสสูง มีโมเลกุลอะมิโลสที่มีขนาดเล็ก และแป้งธัญพืชยังมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวกับอะมิโลสเป็น amylose-lipid complex (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

2.2 อะมิโลสและอะมิโลเพกติน

2.2.1 อะมิโลส

อะมิโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 200-2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage มีโครงสร้างเป็นเกลียวม้วน (helix) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) โดยใน 1 รอบของเกลียวประกอบด้วยกลูโคส 6 หน่วย (Alais and Linden, 1991) อะมิโลสมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 6,500-160,000 สามารถรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงิน โครงสร้างของอะมิโลสแสดงดังรูปที่ 2.4



(ก) (ข)

(ก) แสดงโครงสร้างของอะมิโลสในลักษณะเส้นตรง (ข) แสดงโครงสร้างที่เป็น helix ของอะมิโลส

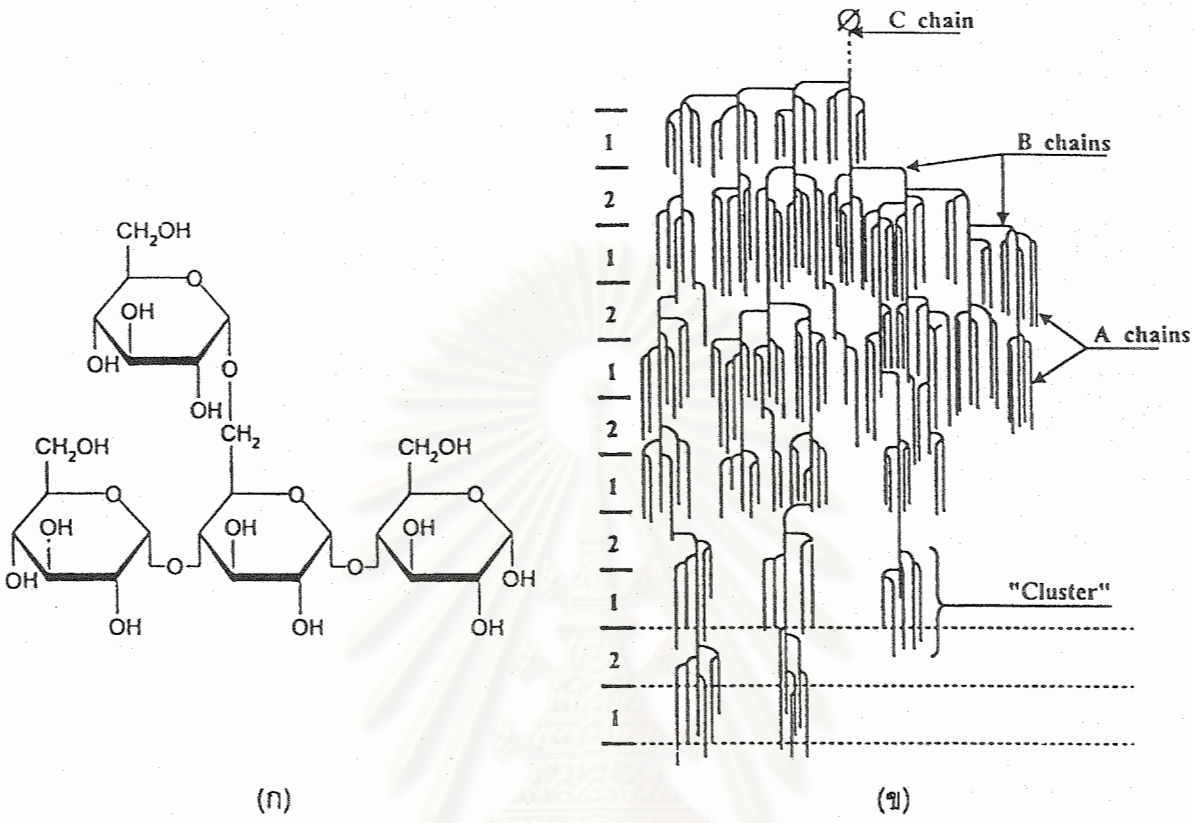
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Alais and Linden, 1991

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลส

2.2.2 อะมิโลเพกติน

อะมิโลเพกติน เป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านเป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี Degree of Polymerization (DP) อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย ส่วนที่เป็นสายตรงของส่วนกิ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านที่แยกออกมาจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic linkage ส่วนที่เป็นกิ่งก้านนี้จะมีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณกลูโคสในอะมิโลเพกตินทั้งหมด DP ของอะมิโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย น้ำหนักประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส มีอัตราในการคืนตัวต่ำเนื่องจากอะมิโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง โครงสร้างของอะมิโลเพกตินประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน อะมิโลสที่อยู่รวมกับอะมิโลเพกตินในส่วนผลึกของเม็ดแป้งจะอยู่รวมกันเป็น

ลักษณะเกลียวคู่ (double helix) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) แสดงโครงสร้างของอะมิโลเพกติน ดังรูปที่ 2.5



(ก) (ข)

(ก) แสดงโครงสร้างของอะมิโลเพกติน

(ข) โครงสร้างของอะมิโลเพกตินโดยส่วนที่ 1 แสดงถึงส่วนผลึก และส่วนที่ 2 เป็นส่วนอสัณฐาน

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน

แป้งต่างชนิดกันจะมีปริมาณของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินต่างกัน โดยใน waxy starch ปริมาณของอะมิโลเพกตินจะมีอยู่ประมาณ 91-100% และไม่มีอะมิโลสเลย ส่วนใน normal starch มีอะมิโลเพกตินประมาณ 70-80% และมีอะมิโลสประมาณ 20-30% โดยพบว่าแป้งจากธัญพืช มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งจากรากและหัว ใน high-amylose starch จะมีอะมิโลเพกตินประมาณ 20-50% และอาจมีอะมิโลสสูงถึง 80% โดยทั่วไปอะมิโลเพกตินจาก waxy starch จะมีโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลอะมิโลเพกตินจาก normal starch (Jane,2001)

ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง อัตราการคืนตัวของแป้งจะสูงสุดเมื่อ DP ของอะมิโลสเท่ากับ 100-200 ดังนั้นอัตราการคืนตัวจึงลดลงเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ส่วนอะมิโลเพกตินมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

2.3 แป้งสาลี

ประเทศไทยได้เริ่มมีการปลูกข้าวสาลีอย่างจริงจังในระยะหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่อย่างไรก็ตาม จนถึงปัจจุบันคุณภาพของข้าวสาลีที่ปลูกได้นั้นยังไม่สม่ำเสมอและยังมีปริมาณการปลูกไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ข้าวสาลีเพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมอบภายในประเทศ ดังนั้น จึงต้องมีการสั่งผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีจากต่างประเทศในรูปของข้าวสาลีชนิดทำขนมปังเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือนำเข้าในรูปแป้ง และนำเข้าในรูปผลิตภัณฑ์สำเร็จอีกเล็กน้อย เช่น มะกะโรนี สปาเกตตี และบะหมี่ เป็นต้น

2.3.1 องค์ประกอบของแป้งสาลี (wheat flour)

แป้งสาลีประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เอนไซม์ วิตามิน แร่ธาตุ เป็นต้น โดยองค์ประกอบที่สำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแป้งสาลี คือ โปรตีน โดยทั้งปริมาณและคุณภาพของโปรตีนถือว่าเป็นปัจจัยที่จะเป็นตัวกำหนดถึงความเหมาะสมในการที่จะนำแป้งไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ (อรอนงค์, 2532)

ก) คาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญและมีปริมาณมากที่สุดในแป้งสาลี ซึ่งได้แก่

1) น้ำตาล เช่น ฟรุกโทส กลูโคส ซูโครส มอลโทส และโอลิโกซัคคาไรด์อื่นๆ

2) สตาร์ช (starch) เป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในแป้งสาลี เนื่องจากเป็นอาหารสะสมของเมล็ดข้าวสาลีในส่วนเนื้อของเมล็ด ประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพกติน โดยปริมาณอะมิโลสในแป้งสาลีจะค่อนข้างสูง คือประมาณ 23-28% (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) โดยในระหว่างการโม่ แรงบดของเครื่องมีผลทำให้เม็ดสตาร์ชเสียหาย (damaged starch) ไม่คงรูปร่าง ความเสียหายของเม็ดสตาร์ชนี้มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ถ้าเม็ดสตาร์ชเกิดความเสียหายพอเหมาะจะเป็นผลดี เพราะเม็ดสตาร์ชจะอุ้มน้ำได้มาก (อรอนงค์, 2532) นอกจากนั้นเอนไซม์ β-amylase จะเข้าตัดสายของโมเลกุลสตาร์ชที่เสียหายจากการโม่ที่พันธะ α-1,4-glucosidic linkage แบบ alternate ได้

maltose และ α-amylase จะเข้าตัดสายของโมเลกุลสตาร์ชให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทำให้ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้ทันที (Kent, 1983)

3) เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนของผนังเซลล์ มีในแป้งสาลีเพียง 0.3%

4) ฮีมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ในเนื้อของเมล็ดข้าวสาลีจะมีฮีมิเซลลูโลสอยู่ประมาณ 2.4%

5) เพนโทแซน (pentosan) เป็นส่วนที่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้มากถึง 15 เท่าของน้ำหนัก (อรอนงค์, 2532) มีความหนืดข้นมากกว่าโปรตีนของแป้ง มีส่วนช่วยให้การดูดซึมน้ำของแป้งเพิ่มขึ้นและลดเวลาในการผสมแป้งกับน้ำให้เกิดเป็นโด (dough) ลง

ข) ไขมัน ปริมาณไขมันที่พบในแป้งสาลีจะมีน้อยกว่าส่วนอื่นๆที่ได้จากการโม่ เช่น ในส่วนของรำ โดยแป้งคุณภาพดีจะมีไขมันต่ำกว่าแป้งคุณภาพระดับรองลงมา ไขมันในแป้งสาลีมีผลในการเก็บรักษาโดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกซิเดชันที่ก่อให้เกิดการเหม็นหืน

ค) เอนไซม์ ในแป้งสาลีมีเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่

1) แอลฟาอะมิเลส (α-amylase) มีคุณสมบัติในการย่อยโมเลกุลสตาร์ชแบบสุ่มในโมเลกุล (endo-enzyme) โดยทำการย่อยเม็ดสตาร์ชที่เสียหายจากการโม่ แต่ไม่สามารถย่อยเม็ดสตาร์ชปกติได้และจะย่อยได้ดีเมื่อสตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชัน การย่อยนี้เกิดขึ้นที่พันธะ 1,4 – glucosidic ผลจากการย่อยทำให้อะมิโลสและอะมิโลเพกตินเปลี่ยนเป็นกลูโคส มอลโทส และโอลิโกซัคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

2) บีตาอะมิเลส (β-amylase) มีคุณสมบัติในการย่อยโมเลกุลสตาร์ชแบบการย่อยจากส่วนนอกของโมเลกุล (exo-enzyme) โดยย่อยจากส่วน non-reducing end เข้ามาตัดกลูโคสสองตัวหรือมอลโทสที่พันธะ 1,4 – glucosidic เช่นกัน ถ้าย่อยอะมิโลสไปเรื่อยๆ ในที่สุดจะได้มอลโทสทั้งหมด ถ้าย่อยอะมิโลเพกตินจะได้มอลโทสและลิมิตเดกซ์ทริน (limit dextrin) เนื่องจาก β-amylase จะย่อยมอลโทสไปจนถึงกลูโคส 2 หรือ 3 โมเลกุลก่อนถึงจุดต่อของพันธะ 1,6 – glucosidic ทำให้ยังมีโมเลกุลเดกซ์ทรินเหลืออยู่มาก

ถ้ามีเอนไซม์ β-amylase ร่วมกับ α-amylase จะมีผลทำให้ β-amylase ย่อยสตาร์ชได้เร็วขึ้น เนื่องจาก α-amylase จะย่อยแบบสุ่มทำให้เกิด non-reducing end ของน้ำตาลมากขึ้น จึงทำให้ β-amylase เข้าย่อยสตาร์ชได้เพิ่มขึ้นนั่นเอง

3) โปรตีเอส (protease) คือเอนไซม์ย่อยโปรตีน มีผลต่อการย่อยโปรตีนกลูเต็นให้มีลักษณะอ่อนนุ่ม เหมาะในการอุ้มก๊าซได้ดี

4) ไลเพส (Lipase) จะย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมัน ทำให้แป้งเกิดการเสื่อมเสียจากกลิ่นหืนได้ คุณภาพของแป้งจะด้อยลงเมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ การทำงานของเอนไซม์นี้จะเป็นไปอย่างรวดเร็วมากเมื่อแป้งมีความชื้น 15% ขึ้นไป

5) กรดแอสคอร์บิกออกซิเดส (ascorbic acid oxidase) มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก ไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกในขณะผสมแป้งให้เป็นโด ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์ ในขณะเดียวกันก็มีเอนไซม์รีดักเทสทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เหมาะสม เป็นผลให้โดมีลักษณะยืดหยุ่นที่เหมาะสม

6) ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) เป็นเอนไซม์ที่พบในแป้ง มีส่วนสำคัญในการปรับสภาพแป้งเมื่อทิ้งแป้งไว้ระยะหนึ่ง หรือ Maturation โดยก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เหมาะสม ทำให้แป้งมีสภาพดีขึ้นเมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่ง

ง) <u>แร่ธาตุ</u> เนื่องจากแร่ธาตุมีมากในส่วนเปลือกมากกว่าในเนื้อเมล็ด ดังนั้นปริมาณเถ้าในแป้งสาลีสามารถบอกถึงปริมาณชอร์ตและรำที่ปนไปในแป้งได้

จ) <u>วิตามิน</u> แป้งสาลีมีวิตามินบีรวมและวิตามินอีมาก ส่วนวิตามินเอมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก

ฉ) <u>โปรตีน</u> ลักษณะของโปรตีนที่กระจายตัวในแป้งสาลีจะอยู่ในรูปโปรตีนสะสม (storage protein) และเส้นใยโปรตีน (protein fibril) ถ้านำโปรตีนในแป้งสาลีมาแยกส่วนจะได้ส่วนของโปรตีนที่ละลายน้ำ คือ แอลบูมิน (Albumin) โปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือ คือ โกลบูลิน (Globulin) โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์ คือ ไกลอะดิน (Gliadin) และโปรตีนที่ละลายได้ในกรดหรือด่าง คือ กลูเตนิน (Glutenin) (อรอนงค์, 2532)

2.3.2 <u>กลูเต็น</u>

กลูเต็น (gluten) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของไกลอะดินซึ่งทำให้โดยืดได้ (extensible) และกลูเต็นนินซึ่งทำให้โดมีความยืดหยุ่น (elastic) (Alais and Linden, 1991) ในปริมาณใกล้เคียงกัน การผสมแป้งกับน้ำและการนวดโดทำให้ไกลอะดินและกลูเต็นนินเกิดลักษณะโครงสร้างร่างแหของกลูเต็นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของพันธะทางเคมีระหว่างกรดอะมิโนหลายรูปแบบ ได้แก่ พันธะโคเวเลนต์ พันธะอิออนิก พันธะไฮโดรเจน และพันธะแวน เดอร์ วอลส์ (Van der Waals) โปรตีนกลูเต็นนั้นมีลักษณะพิเศษที่ไม่เหมือนกับโปรตีนในแป้งชนิดอื่นทำให้แป้งสาลีเมื่อนำมาทำขนมอบจะได้ก้อนโดที่มีโครงสร้างของกลูเต็นที่แข็งแรงและยืดหยุ่น สามารถอุ้มก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมัก เหนียวพอดี เป็นเส้นใยและคงรูปร่างได้เมื่อเข้าเตาอบ (อรอนงค์, 2532) มีสมบัติที่เหมาะสำหรับการผลิตโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ (automatic processing) (Matz and Matz, 1978) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อฟูและเบา ความแน่นเนื้อต่ำ (low density) และให้เนื้อขนมที่มีเซลล์ละเอียดสม่ำเสมอ มีความนุ่มและความยืดหยุ่นดี (Kent, 1983)

2.3.3 ชนิดของแป้งสาลี

แป้งสาลี สามารถจำแนกตามปริมาณโปรตีนได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ (Matz and Matz, 1978; อรอนงค์, 2532)

ก) hard flour หรือ bread flour เป็นแป้งขนมปัง มีโปรตีนโดยเฉลี่ยประมาณ 12-13% และเถ้าประมาณ 0.4-0.5% มีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง

ข) soft flour หรือ cake flour เป็นแป้งเค้ก มีโปรตีนโดยเฉลี่ยประมาณ 8-9% และมีเถ้าต่ำกว่า 0.4% มีความสามารถในการดูดซึมน้ำต่ำและใช้เวลาสั้นในการผสม

ค) medium flour หรือ all-purpose flour เป็นแป้งที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างแป้งขนมปังและแป้งเค้ก มีโปรตีนโดยเฉลี่ยประมาณ 10-11%

2.3.4 การทดสอบลักษณะทางกายภาพของแป้งสาลี

เนื่องจากในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีนั้น องค์ประกอบที่สำคัญนอกเหนือจากแป้งคือน้ำ ดังนั้นการผสมแป้งกับน้ำจึงเป็นวิธีการแรกที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของแป้งให้กลายเป็นโด และลักษณะของโดที่ได้จะมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ เครื่องมือชนิดต่างๆที่ใช้ทดสอบลักษณะทางกายภาพของแป้งมีดังนี้ (อรอนงค์, 2532)

ก) Mixograph เป็นเครื่องมือขนาดเล็กที่ใช้วัดลักษณะการผสมของแป้งกับน้ำ ใช้แป้งปริมาณเพียง 10 g เหมาะในการใช้ควบคุมคุณภาพของข้าวสาลีเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ เนื่องจากใช้ปริมาณแป้งในการทดลองน้อย ใช้เวลาน้อย สามารถวัดความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการผสมของแป้งแต่ละชนิดได้ดี

ข) Rhe-O-Graph เป็นเครื่องบันทึกลักษณะการผสมโดในปริมาณแป้งมากขึ้น โดยใช้แป้งถึง 700 g กราฟที่ได้จากเครื่องนี้จะแสดงถึงการดูดซึมน้ำของแป้งและลักษณะการผสมตั้งแต่ต้นจนโดหมดสภาพความคงทนต่อเครื่องผสม

ค) Chopin Extensimeter เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Alveograph เป็นเครื่องมือที่ออกแบบให้วัดค่าความยืดและความทนต่อแรงยืดของก้อนโด โดยใช้หลักการเป่าลมให้เกิดแรงดันแผ่นโดพองขึ้นเป็นลูกโป่ง จนในที่สุดลูกโป่งจากฟิล์มของโดจะแตกออก ค่าที่วัดได้เป็นจำนวนแรงดันที่ใช้ในการเป่าโดจนแตก กราฟที่ได้จะแสดงถึงสมบัติของโด

ง) Farinograph เครื่องนี้ได้รับความนิยมในการทดสอบลักษณะทางกายภาพของแป้งมากกว่าเครื่องอื่น เนื่องจากวัดค่าการดูดซึมน้ำของแป้งได้ดี เพราะการดูดซึมน้ำของแป้งที่เหมาะสมจะมีผลทำให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้ดี อีกทั้งสามารถวัดลักษณะการรวมตัวของแป้งกับน้ำขณะผสมได้ชัดเจนกว่าเครื่อง Mixograph หม้อผสมของเครื่อง Farinograph มีสองขนาดคือ ขนาด 300 g และขนาด 50 g โดยทั่วไปนิยมใช้ขนาด 300 g เพราะให้ผลที่คงที่มากกว่า

หลักการทำงานของเครื่องเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องผสมความเร็วสูงกับแรงที่ใช้หมุนแกนรูปตัว Z สองอันผ่านโดขณะผสมไปยังเครื่องไดนาโมมิเตอร์ซึ่งเชื่อมกับเครื่องบันทึกผลการผสมออกมาเป็นเส้นโค้งที่อ่านค่าได้ มีรูปร่างต่างกันตามชนิดของแป้ง จากกราฟที่ได้สามารถประเมินค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง หรือค่า water absorption เวลาที่ใช้ในการเกิดโด หรือค่า development time ความเสถียรของโด หรือค่า dough stability เวลาที่โดขาด หรือค่า time to breakdown และค่าดัชนีการผสม หรือค่า Mechanical Tolerance Index (MTI)

จ) Extensograph เป็นเครื่องวัดลักษณะความยืดหยุ่นของโด ซึ่งจะวัดเป็นค่าความคงทนต่อแรงยืด และความยืดของโดที่หมักเป็นเวลา 45 นาที 90 นาที และ135 นาที รูปร่างลักษณะของเส้นโค้งจากโดชนิดต่างๆไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง การควบคุมลักษณะของแป้งให้มีคุณภาพสม่ำเสมอจึงทำได้โดยการเปรียบเทียบลักษณะของกราฟของแป้งมาตรฐานที่ทำไว้ และถ้ามีการเติมสารเคมีลงในแป้ง เช่นการเติมสารออกซิไดซ์ จะมีผลทำให้กราฟที่ได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย ลักษณะของเส้นโค้งของโดที่หมักในเวลาต่างกันมีลักษณะต่างกัน กราฟที่ได้สามารถประเมินค่าความคงทนต่อแรงยืดของโด หรือค่า resistance ความสามารถในการยืดของโด หรือค่า extensibility และอัตราส่วนความคงทนต่อแรงยืดของโดต่อความสามารถในการยืดของโด หรือค่า ratio figure

ฉ) Brabender Amylograph เป็นเครื่องมือวัดความหนืดของแป้งกับน้ำ หลักการทำงานคือการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้ร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็น เม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนมีการพองตัวเกิดขึ้น ทำให้เกิดความหนืดและแรงต้านบนเข็มโลหะที่จุ่มอยู่ แรงนี้จะถูกทำให้สมดุลด้วยสปริงซึ่งต่อเชื่อมกับเข็มบันทึกค่าความหนืด ติดตามผลที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดการวัด แสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง มีหน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) จากกราฟความหนืดที่ได้สามารถประเมินค่าความหนืดสูงสุด หรือค่า peak viscosity ค่าความหนืดต่ำสุด หรือค่า trough viscosity ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด หรือค่า breakdown ค่าความหนืดสุดท้าย หรือค่า final viscosity เวลาที่ใช้ในการเกิดความหนืดสูงสุด หรือค่า peak time อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด หรือค่า pasting temperature และค่าการคืนตัว หรือค่า setback ของแป้ง

ช) Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านความหนืดขณะที่ให้ความร้อน เครื่องนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือมีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิโดยสามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ จึงทำให้สามารถหากราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็วเนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph

2.4 ขนมปัง

คำนิยามของขนมปังมีหลากหลายตั้งแต่อดีต ในปัจจุบัน “ขนมปัง” จะหมายถึงเฉพาะขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลัก (Alais and Linden, 1991) ขนมปังมีลักษณะและวิธีทำที่แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศหรือภูมิภาคขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ความชอบ และวัฒนธรรมของคนในประเทศหรือภูมิภาคนั้น ๆ สูตรการทำขนมปังพื้นฐานประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ชนิด คือ แป้งสาลี ยีสต์ เกลือ และน้ำ แต่เนื่องจากการผลิตขนมปังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจึงอาจมีการใช้ส่วนประกอบรองอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล นม มอลต์ และสารปรุงแต่งอื่น ๆ เช่น สารกันรา สารเสริมคุณภาพ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับสูตรของขนมปังและผู้ผลิต (Pomeranz and Shallenberger, 1971)

2.4.1 ส่วนประกอบต่างๆในขนมปัง

ก) แป้ง หมายถึงแป้งสาลี มีหน้าที่เป็นโครงสร้างของขนมปัง แป้งสาลีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตขนมปังได้ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ (Kent, 1983)

1) มีปริมาณโปรตีนมากเพียงพอ และมีปริมาณที่พอเหมาะ เพราะเมื่อมีการดูดซึมน้ำแล้วจะต้องได้กลูเต็นที่มีความยืดหยุ่น (elasticity) ความแข็งแรง (strength) และความคงทน (stability) สูง

2) มีปริมาณความชื้น (moisture content) ที่พอเหมาะ ทั้งนี้ไม่ควรเกิน 14% เพื่อให้แป้งสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

3) มีเม็ดสตาร์ชที่เสียหายจากการโม่ในปริมาณที่พอเหมาะ เนื่องจากเอนไซม์ α-Amylase จะสามารถเข้าตัดสายของโมเลกุลสตาร์ชที่เสียหายจากการโม่ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทำให้ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้ทันที แต่หากมีเม็ดสตาร์ชที่เสียหายจากการโม่มากเกินไป จะมีผลทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลงและมีลักษณะปรากฏด้อยลง

4) มี amylase activity ในระดับที่พอเหมาะ เนื่องจาก amylase activity ที่มากเกินไปมีผลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโดลดลง เนื้อขนมปังมีโครงสร้างไม่แข็งแรงและมีลักษณะเหนียวแฉะ

ข) ยีสต์ เป็นยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* หรือที่เรียกว่า Baker's yeast สามารถนำมาใช้ได้ทั้งในรูปยีสต์สดหรือยีสต์แห้ง ยีสต์ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้ (อรอนงค์, 2532)

1) เปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดันให้โดพองตัวขึ้นจากเดิมหลายเท่า ทำให้ขนมปังมีโครงสร้างที่เบาและมีรูพรุน

2) ยีสต์ช่วยปรับสภาพโดให้เหมาะสม คือทำให้โดยืดตัว มีก๊าซแทรกอยู่ เมื่อนำเข้าอบและยีสต์ตายลง ขนมปังจะยังคงรูปร่างขึ้นฟู

3) ให้กลิ่นหมักของแอลกอฮอล์ กลิ่นยีสต์ และกลิ่นอื่นๆ ทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะของขนมปังที่ผู้บริโภคพอใจ

อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้ยีสต์มีกิจกรรมการหมัก (fermenting activity) สูงสุดคือประมาณ 30 °C (เซลเซียส) แต่หากอุณหภูมิสูงเกิน 47 °C ยีสต์จะตายอย่างรวดเร็ว (Kent, 1983) ปริมาณยีสต์ที่ใส่ในขนมปังไม่เท่ากันขึ้นกับชนิดและขั้นตอนการทำขนมปัง โดยเฉพาะขั้นตอนการหมัก ถ้าใช้เวลาหมักนานจะใช้ยีสต์ปริมาณน้อย

ค) <u>เกลือ</u> ทำหน้าที่หลายประการ คือ (อรอนงค์, 2532)

1) ช่วยเพิ่มรสชาติแก่ขนมปัง

2) เพิ่มความแข็งแรงให้แก่โดขนมปัง ช่วยให้กลูเต็นแข็งแรงและคงทนโดยการเสถียรประจุของโปรตีน ช่วยทำให้ปริมาตรขนมปังเพิ่มขึ้น ทำให้โดมีความเหนียวน้อยลงและไม่แฉะ

3) ช่วยชะลออัตราเร็วของการหมัก มีการหมักนานขึ้น ทำให้ขนมปังขึ้นฟูสม่ำเสมอและมีโครงสร้างดี

ปริมาณเกลือที่ใช้ในสูตรขนมปังอยู่ในช่วง 1.5-2.1% ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งปริมาณนี้จะทำให้ความเข้มข้นของเกลือในขนมปังอยู่ในช่วง 1.1-1.4% (Kent, 1983)

ง) <u>น้ำ</u> เป็นส่วนผสมหลักสำคัญต่อขนมปัง โดยมีหน้าที่ดังนี้ (อรอนงค์, 2532; Hoseney, 1994)

1) ทำหน้าที่เป็น plasticizer และตัวทำละลาย ทำให้ส่วนผสมสามารถผสมเข้าไปในเนื้อโดได้สม่ำเสมอ เมื่อนวดแป้งกับน้ำทำให้เกิดกลูเต็นขึ้นและทำให้โดมีความยืดหยุ่นดี น้ำทำให้เอนไซม์สามารถทำงานได้ ดังนั้นปฏิกิริยาต่าง ๆจึงเกิดขึ้นได้ในระหว่างการหมัก

2) น้ำมีส่วนทำให้สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นขณะอบ กลูเต็นขยายตัวและแป้งแปรสภาพจากดิบเป็นสุกและคงรูปร่างของขนมปัง

3) น้ำที่ยังเหลืออยู่ในขนมปังหลังจากการอบจะทำให้ขนมปังนุ่มเมื่อใช้มือกด เนื้อขนมปังมีลักษณะเหนียวนุ่มเมื่อเคี้ยว ซึ่งเป็นลักษณะที่ยอมรับของผู้บริโภค

จ) <u>ไขมัน</u> ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มปริมาตรขนมปัง ลดความแข็งของเปลือก (crust) ขนมปัง และทำให้ส่วนเนื้อ (crumb) ขนมปังมีผนังเซลล์ที่บางและส่งผลให้ขนมปังมีเนื้อนุ่มขึ้น ไขมันยังช่วยให้กลิ่นรสของขนมปังอีกด้วย ปริมาณไขมันที่ใช้ในขนมปังประมาณ 1% ของน้ำหนักแป้ง (Kent, 1983)

2.4.2 วิธีการผลิตขนมปัง

วิธีการผลิตขนมปังมีหลายวิธี โดยวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่รู้จักกันทั่วไป สรุปได้คร่าวๆ ดังนี้ (Kent, 1983; Corsetti *et al*.,1998)

ก) Straight dough จะเริ่มจากการผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันในขั้นตอนเดียวแล้วจึงหมัก วิธีนี้ใช้เวลาหมักประมาณ 2-3 ชั่วโมง

ข) Sponge-and-dough จะเริ่มจากการผสมแป้งและน้ำเพียงบางส่วนเข้ากับยีสต์และอาหารยีสต์ จากนั้นจึงทิ้งให้หมักเป็นเวลานานเพื่อให้เกิดการหมักโดยสมบูรณ์ก่อนจะผสมส่วนผสมอื่นๆลงไป และทิ้งให้หมักอีกเป็นระยะเวลาสั้นๆ ก่อนอบ ในบางประเทศนิยมใช้การผลิตวิธีนี้เนื่องจากเชื่อว่าทำให้ขนมปังมีรสชาติสมบูรณ์กว่าขนมปังที่ได้จากวิธี Straight dough

ค) No-time dough เป็นวิธีประยุกต์จาก Straight dough แต่มักใช้ยีสต์ปริมาณมากขึ้นในการหมักและมีการใช้สารเคมีร่วมด้วย รวมทั้งผสมโดภายใต้สภาวะสุญญากาศและหมักที่อุณหภูมิสูงเพื่อลดเวลาการหมักลงจนเหลือเพียง 0-20 นาที ขนมปังที่ได้จะมีคุณภาพไม่ค่อยดีนักแต่ใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่าวิธีธรรมดามาก

ง) Continuous mixing เป็นขั้นตอนการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยการผสมส่วนผสมในเครื่องจักร มี Extruder ทำหน้าที่รีดโดขนมปังคล้ายการนวด จากนั้นทิ้งโดให้เกิดการหมักไปในขณะเดียวกัน โดยโดที่หมักแล้วจะถูกส่งไปขึ้นรูปและอบอย่างต่อเนื่อง

จ) Gas-Injection process เป็นการเร่งให้เกิดก๊าซภายในโดด้วยการผสมน้ำโซดาเข้าไปในส่วนผสมด้วยความดันสูง ทำให้โดมีลักษณะเหมือนผ่านการหมักหลังจากผสมเสร็จจึงไม่ต้องผ่านการหมักอีก

ฉ) Sourdough คือ การหมักโดโดยใช้ Lactic Acid Bacteria (LAB) ร่วมกับยีสต์เพื่อให้ขนมปังเกิดกลิ่นรสที่ดี

2.4.2.1 วิธีการผลิตขนมปังแบบ Straight Dough

เป็นการผลิตขนมปังแบบหมักครั้งเดียว โดยเริ่มจากการผสมส่วนผสมหลัก 4 ชนิด ได้แก่ แป้ง ยีสต์ เกลือ และน้ำ รวมทั้งส่วนผสมรองอื่นๆเข้ากันในครั้งเดียว ปริมาณน้ำที่ใช้เติมลงไปในสูตรเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่มีสมบัติเหมาะสมในการเกิดโดที่ดี จะเท่ากับประมาณ 55-61 ส่วนต่อแป้ง 100 ส่วน (Kent, 1983) หลังจากผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันจนเป็นก้อนโดแล้ว จึงหมักโดที่อุณหภูมิประมาณ 27-32 °C เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง จากนั้นนำโดมารีดไล่อากาศเพื่อให้เกิดการหมักอย่างทั่วถึงทั้งก้อนโด ตัดแบ่งให้ได้น้ำหนักโดตามขนาดที่ต้องการ ปั้นเป็นก้อนกลม พักไว้ที่อุณหภูมิ 27-32 °C ประมาณ 10-15 นาที แล้วนำโดมาม้วนให้แน่นเพื่อให้ก๊าซกระจายตัวได้ทั่ว

และโดสามารถเก็บก๊าซได้ดี นำโดที่ม้วนขึ้นรูปแล้วใส่ในพิมพ์ พักไว้ที่อุณหภูมิ 43 °C เป็นเวลา 45-60 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 200-250 °C เป็นเวลา 20-40 นาที

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการทำขนมปัง

ก) การเกิดโด

ลักษณะของโดที่ดี หมายถึง โดที่มีความยืดหยุ่นดี สามารถดึงได้เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ มีเนื้อเนียนเป็นมัน มีความยืดตัวดี (อรอนงค์, 2532) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเกิดจากการนวดโดอย่างทั่วถึงและต่อเนื่องจนเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน เนื้อโดจะประกอบด้วย 4 ส่วนใหญ่ๆ โดย 2 ส่วนแรกเป็นส่วนต่อเนื่อง (continuous phase) ได้แก่ ส่วนของโครงสร้าง (network) ของกลูเต็นที่ดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุล และส่วนที่สารต่างๆละลายอยู่ในโมเลกุลน้ำอิสระ (free water) อีก 2 ส่วนเป็นส่วนไม่ต่อเนื่อง (discontinuous phase) ได้แก่ ส่วนของเม็ดแป้งที่ถูกยึดกันไว้ด้วย กลูเต็นและส่วนของอากาศที่ถูกกักและกระจายตัวอยู่ในโดซึ่งเกิดจากการนวดโด (Alais and Linden, 1991)

ข) การหมัก

หลังจากนวดส่วนผสมต่างๆจนเกิดเป็นโดขนมปัง ต้องมีการพักก้อนโดไว้ให้เกิดการหมักเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ

1) ช่วงแรก: ในการหมักของโดช่วงนี้ จะมีเอนไซม์ต่างๆที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ เอนไซม์ β-amylase และ α-amylase จากแป้ง และเอนไซม์ maltase, invertase และ zymase complex จากยีสต์ (Kent, 1983) ในช่วงแรกนี้ยีสต์จะใช้น้ำตาลอิสระที่มีอยู่ประมาณ 1% ในแป้ง (Alais and Linden, 1991) เพื่อให้เกิดการหมัก ในขณะที่เอนไซม์ β-amylase และ α-amylase จะย่อยคาร์โบไฮเดรตจากเม็ดแป้งที่เสียหายจากการโม่ระหว่างการผลิตแป้ง ทำให้ได้น้ำตาลมอลโทสและเดกซ์ทริน และถูกย่อยต่อด้วยเอนไซม์ maltase ให้เป็นกลูโคสและฟรุคโทส โดยยีสต์จะใช้น้ำตาลที่เกิดขึ้นเพื่อให้เกิดขั้นตอนการหมักช่วงที่สองต่อไป

2) ช่วงที่สอง: การหมักเกิดจากเอนไซม์ zymase complex ในยีสต์เปลี่ยนกลูโคสเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ ซึ่งมีผลต่อขนาดของขนมปัง นอกจากนั้นยังสามารถผลิตสารประกอบคาร์บอนิล เอสเทอร์ และกรดอินทรีย์บางตัว เช่น กรดอะซิติค กรดแลคติค กรดโพรพิโอนิค และกรดไพรูวิค ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติเฉพาะของขนมปังขึ้น (Kent, 1983; Alais and Linden, 1991)

การหมักทั้งสองช่วงส่งผลต่อลักษณะของโด โดยลักษณะของโดก่อนหมักจะเหนียวและขาดง่าย แต่หลังจากหมักเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมจนโดได้ที่แล้ว จะเหนียวน้อยลงและสามารถยืดตัวได้ดี (Kent, 1983)

ค) <u>การอบ</u>

ในระหว่างการอบ สีและลักษณะของโดจะเปลี่ยนจากโดสีขาวขุ่น นุ่ม ไปเป็นขนมปังที่มีเปลือกสีน้ำตาลและมีโครงสร้างแข็งแรง โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับขนมปังขณะอบเป็นไปตามลำดับ ตามช่วงอุณหภูมิต่างๆของโด ดังนี้

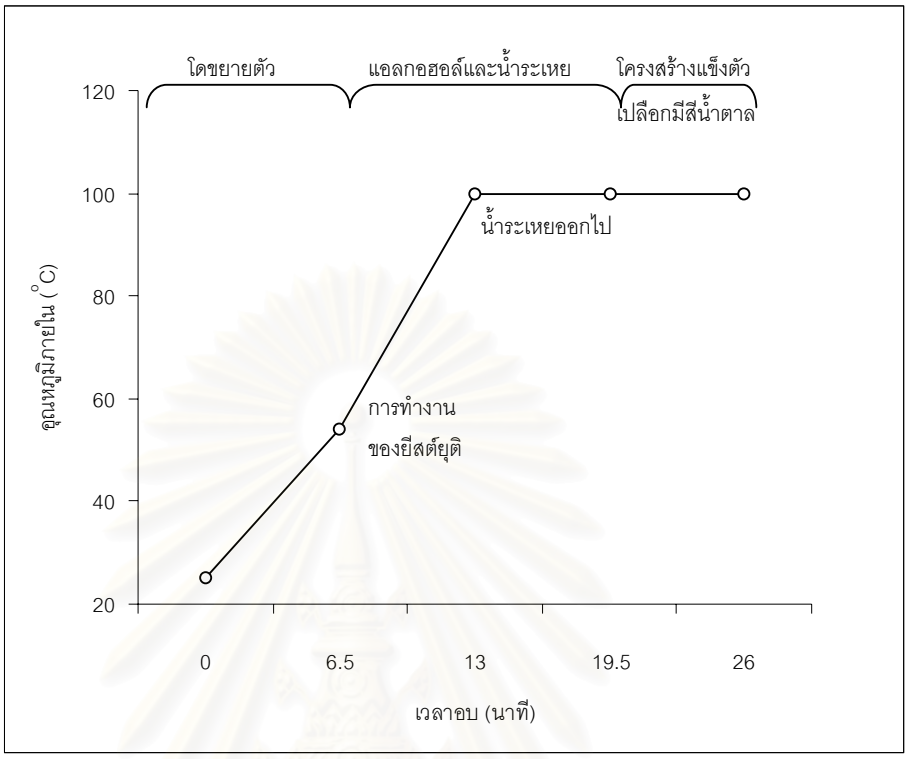
1) ช่วงแรกของการอบ อุณหภูมิของโดค่อยๆสูงขึ้น ความร้อนในช่วงแรกช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และการเจริญเติบโตของยีสต์และแบคทีเรีย ให้เกิดกระบวนการหมักเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โดขยายขนาดอย่างรวดเร็วหรือที่เรียกว่าการเกิด “oven spring” (Pomeranz and Shallenberger, 1971) ขณะเดียวกันจะเกิดชั้นบางๆของฟิล์มบนผิวด้านนอกของโด โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะหยุดเมื่ออุณหภูมิภายในโดสูงขึ้นถึง 60 °C ซึ่งในช่วงนี้แอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะระเหยออกไป

2) เมื่ออุณหภูมิของโดสูงขึ้นถึงประมาณ 70 °C แป้งจะเกิดการเจลาติไนซ์ โดยจะดึงน้ำจากโด ทำให้กลูเต็นเสียน้ำจึงทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติไป (denature) กล่าวคือ จากสภาพของกลูเต็นที่ยืดหยุ่นจะแข็งตัว ทำให้เกิดโครงสร้างของเซลล์ที่มีรูพรุนกระจายทั่วทั้งก้อนขนมปัง นอกจากนั้นการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งทำให้เม็ดแป้งพองตัวและแตกออกอะมิโลสในเม็ดแป้งละลายออกมาจับกับโปรตีนทำให้เกิดการฟอร์มตัวของโครงสร้างขนมปัง

3) เมื่ออุณหภูมิของโดสูงถึง 100 °C น้ำภายในโดเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและระเหยออกไป ทำให้ส่วนของเปลือกขนมปังเริ่มแข็งตัว ณ จุดนี้ปริมาตรของขนมปังจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก

4) เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นเป็น 110 °C ส่วนผิวนอกของขนมปังจะเกิดปฏิกิริยา dextrinization และ caramelization ก่อให้เกิดลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบ คือ ผิวนอกของผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลของการไหม้และมีความมันเงาบนผิวของเปลือกขนมปัง (Alais and Linden, 1991) จากนั้นเมื่ออบใกล้เสร็จ อุณหภูมิภายนอกของขนมปังจะสูงประมาณ 170-230 °C เกิดปฏิกิริยา Maillard ของกรดอะมิโนและรีดิวซิงคาร์โบไฮเดรต ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลเรียกว่า melanoidin ปฏิกิริยาดังกล่าวจัดเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ทำให้เปลือกของขนมปังเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและให้กลิ่นรสของขนมปัง (อรอนงค์, 2532)

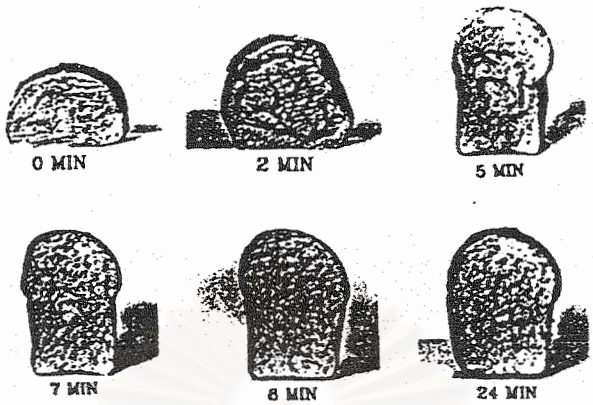
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับขนมปังขณะอบดังที่กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปคร่าวๆได้ดังรูปที่ 2.6



ที่มา: Pomeranz and Shellenberger, 1971

รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของขนมปังขณะอบ

Hoseney (1994) ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างขนมปังที่ผ่านการอบเป็นระยะเวลาต่างๆ ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 2.6 กล่าวคือ ขณะที่เริ่มอบ โดมีก๊าซแทรกอยู่ทั่วไป มีลักษณะฟูเบาแต่ยังมีปริมาตรน้อย เมื่ออบเป็นเวลา 2 นาที อุณหภูมิของโดค่อยๆ สูงขึ้น ความร้อนที่ไม่สูงมากในช่วงแรกจะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และการเจริญเติบโตของยีสต์ทำให้เกิดกระบวนการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้โดขยายขนาดอย่างรวดเร็วในช่วงตั้งแต่เริ่มอบถึงประมาณนาทีที่ 7 ของการอบ จากนั้นความร้อนที่สูงขึ้นทำให้ยีสต์ตาย ขณะเดียวกันแป้งในขนมปังเกิดการเจลาติไนซ์ และโปรตีนกลูเต็นเกิดการเสียสภาพธรรมชาติทำให้เกิดการฟอร์มตัวของโครงสร้างขนมปังขึ้น ในช่วงนี้โครงสร้างของขนมปังยังไม่แข็งแรง เมื่อเวลาของการอบเพิ่มขึ้นเป็น 8 นาที สังเกตว่าปริมาตรของขนมปังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก จากนั้นเมื่ออบขนมปังไปเป็นเวลา 24 นาที โครงสร้างขนมปังแข็งตัว เปลือกของขนมปังมีความหนาเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล



ที่มา: Hoseney, 1994

รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างขนมปังที่ผ่านการอบเป็นเวลาต่างๆ

ง) <u>การเย็นตัวของขนมปัง</u>

ขนมปังเมื่ออบเสร็จและนำออกจากเตาอบใหม่ๆ เนื้อขนมปังจะมีอุณหภูมิประมาณ 98 °C และมีความชื้นประมาณ 45% ส่วนเปลือกจะมีอุณหภูมิประมาณ 150 °C และมีความชื้นประมาณ 1-2% ส่วนของเปลือกขนมปังจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ส่วนเนื้อจะใช้เวลา 2-3 ชั่วโมงในการเย็นตัว ระหว่างนี้ความชื้นจะเคลื่อนที่จากส่วนของเนื้อขนมปังสู่ส่วนเปลือก ทำให้เมื่อขนมปังเย็นตัวลงแล้ว ส่วนของเปลือกจะมีความกรอบ (crispness) ลดลง (Kent, 1983) นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพขนมปังด้วย หากทิ้งขนมปังให้เย็นตัวเป็นเวลานานเกินไป น้ำหนักของขนมปังจะลดลงมากและทำให้เนื้อขนมปังแข็ง แต่หากใช้เวลาในการทิ้งขนมปังให้เย็นตัวน้อยเกินไป ขนมปังยังไม่เย็นทำให้ตัดยากและเมื่อนำไปบรรจุในถุงจะเกิดไอน้ำหรือเหงื่อในถุง ความชื้นจะย้อนกลับเข้าสู่ขนมปัง ทำให้ขนมปังเสียจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย ดังนั้นจึงควรใช้เวลาที่พอเหมาะในการทิ้งให้ขนมปังเย็นตัวเพื่อให้ได้ขนมปังคุณภาพดี (อรอนงค์, 2532)

2.5 ความไม่สดในขนมปัง (bread staling)

ขนมปังที่ออกมาจากเตาอบใหม่ๆ เป็นขนมปังที่มีคุณภาพดีที่สุด กล่าวคือ มีลักษณะภายนอกดี เปลือกนอกแข็งกรอบสีน้ำตาล เนื้อขนมปังนุ่มสีขาว มีความยืดหยุ่นตัวดี เหนียวเป็นใย

ทำให้เมื่อเคี้ยวจะเหนียวเล็กน้อย มีกลิ่นหอมหวานและรสชาติดี (อรอนงค์, 2532) หลังจากนั้นขนมปังที่ออกจากเตาอบจะค่อยๆเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จนเมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 55 °C จะเกิดการคืนตัวของแป้ง ขนมปังจึงสดอยู่ได้เพียง 12-18 ชั่วโมงเท่านั้นหลังจากการอบและจากนั้นจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดความไม่สด หรือ staling ในขนมปังขึ้น

2.5.1 ลักษณะของขนมปังที่เกิด staling

ความไม่สด หรือ staling ในขนมปัง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นในขนมปังหลังจากการอบ โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมสภาพอันมีสาเหตุจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ขนมปังเกิดการเปลี่ยนแปลงใน 2 ส่วน คือ

ก) รสชาติ

ขนมปังสูญเสียรสชาติและกลิ่นหอมหวานไป เกิดกลิ่นที่มีลักษณะเกือบจะเป็นกลิ่นเปรี้ยวขึ้นแทน มีรสชาติเป็นแป้ง (starchy) มากขึ้น (Setser, 1996)

ข) ลักษณะเนื้อสัมผัส

1) เนื้อขนมปังมีลักษณะแห้ง แข็ง มีความหยาบกระด้าง (harshness) และความร่วน (crumbliness) มากขึ้น เนื้อมีสีขาวขุ่นทึบ (opaque) กว่าขนมปังสด (Zobel and Kulp, 1996)

2) เปลือกขนมปังสูญเสียความกรอบ (Setser, 1996) เปลี่ยนเป็นมีลักษณะเหนียวคล้ายหนังหรือยาง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการแพร่ความชื้นจากส่วนเนื้อขนมปังออกสู่ส่วนเปลือก (Pormeranz and Shallenberger, 1971; Hoseney, 1994; Setser, 1996)

2.5.2 การทดสอบการเกิด staling ในขนมปัง

การทดสอบความสดของขนมปัง สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

ก) การสังเกต เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ผู้บริโภคสามารถใช้เพื่อประกอบการเลือกซื้อได้เลยโดยการสังเกตด้วยตาเปล่าและทดสอบความนุ่มของขนมปังด้วยการสัมผัส เนื่องจากขนมปังที่เกิด staling จะมีสีขาวขุ่นและมีความแข็ง (firmness) มากกว่าขนมปังสดใหม่ (Watson and Boyle, 1996)

ข) การวัดความแข็งด้วยเครื่องมือ เป็นวิธีที่สามารถบอกการเกิด staling ของขนมปังได้คร่าวๆและเป็นที่นิยมโดยทั่วไป เครื่องมือจะวิเคราะห์ปริมาณของแรงที่ใช้กดลงไปบนเนื้อขนมปังให้ยุบตัว โดยถ้าใช้แรงกดมากแสดงว่าขนมปังนั้นมีความแข็งมากหรือเกิด staling มาก (Ghiasi *et al*.,1984)

ค) การทดสอบทางประสาทสัมผัส เป็นวิธีที่ดีที่สามารถบอกการเกิด staling ในขนมปัง โดยผู้ทดสอบจะต้องเป็นผู้ที่มีความชำนาญ การทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะช่วยยืนยันผลการทดสอบด้วยวิธีอื่นๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถบอกได้ถึงกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไปของขนมปังด้วย (Watson and Boyle, 1996)

ง) การใช้เอนไซม์ เป็นวิธีทดสอบการรีโทรเกรดของแป้ง โดยถ้าค่า Degree of Gelatinization (DG) ของแป้งขนมปังสูงจะหมายถึงมีความสามารถในการเกิดเป็นเจลได้ง่ายกว่า ดังนั้น จึงเกิดการคืนตัวน้อยกว่าแป้งที่มี DG ต่ำ (Hibi, 2001) วิธีทางเอนไซม์ที่ใช้ทดสอบการรีโทรเกรดของแป้ง เช่น วิธี Beta-Amylase-Pullulanase (BAP) เป็นต้น (Matsunaga and Kainuma, 1986)

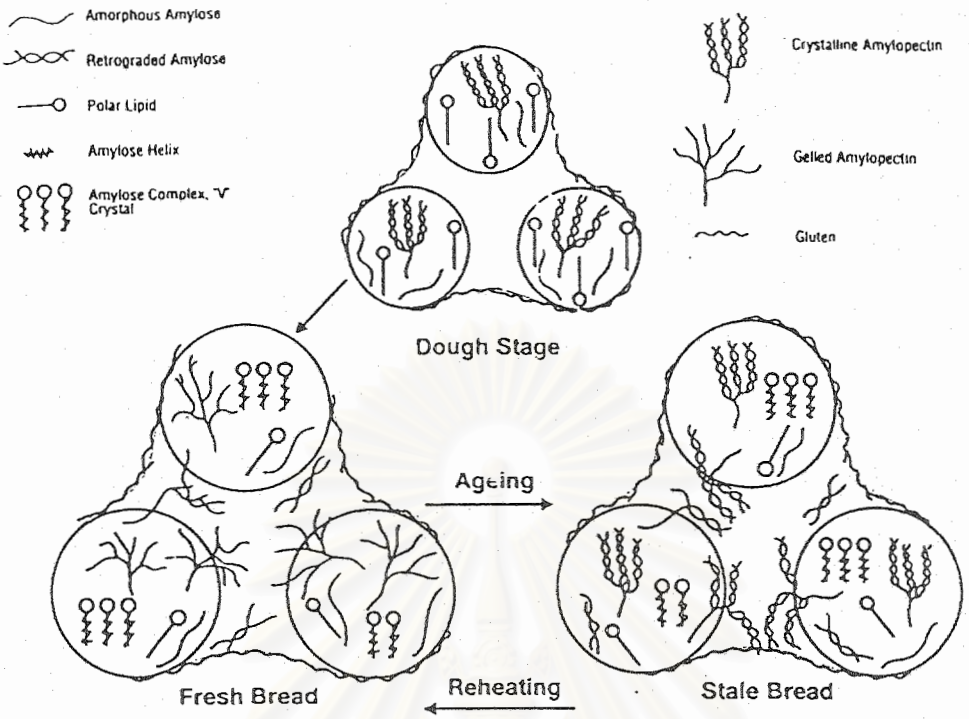
จ) การวิเคราะห์สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (thermal analysis) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) เนื่องจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมปัง เมื่อขนมปังถูกเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งแป้งจะเกิดการรีโทรเกรดทำให้ส่วนอสัณฐานของอะมิโลเพกตินเข้ามารวมกันเกิดเป็นผลึกใหม่ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิด staling ในขนมปัง อะมิโลเพกตินที่รีโทรเกรดนี้จะกลับมาละลายได้ใหม่ในช่วงอุณหภูมิ 50-60 $^{\circ}$C (Zobel and Kulp, 1996) ณ ช่วงอุณหภูมินี้จะมีการดูดพลังงานเข้าไปเพื่อช่วยสลายพันธะของส่วนผลึกของแป้ง จึงได้มีการนำเครื่อง DSC มาใช้วิเคราะห์ค่าเอนธาลปีที่ใช้ในการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรด โดยพบว่าค่าเอนธาลปีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC จะมีความสัมพันธ์กับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Munzing and Brack, 1991)

2.6 กลไกการเกิด staling ในขนมปัง

การเกิด staling ในขนมปังทำให้เนื้อขนมปังแข็งขึ้นและแห้งลงและเนื้อขนมปังมีสีขาวขุ่นนั้น ไม่ได้เกิดจากการที่เนื้อขนมปังสูญเสียความชื้นไป แต่เป็นผลมาจากปรากฏการณ์การคืนตัวของแป้ง (Pomeranz and Shallenberger,1971; Munzing and Brack, 1991; Hoseney, 1994) แสดงว่าการคืนตัวของแป้ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทบาทของแป้ง อะมิโลสและอะมิโลเพกตินในแป้งเป็นส่วนสำคัญของการเกิด staling ในขนมปัง (Zobel and Kulp, 1996; Morgan *et al*., 1997)

2.6.1 บทบาทของแป้งต่อการเกิด staling ในขนมปัง

เนื่องจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมปัง คือ มีประมาณ 80% ของน้ำหนักแห้ง จึงมีบทบาทสำคัญต่อการเกิด staling ในขนมปัง รูปที่ 2.8 แสดงกลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแป้งในการเกิด staling ในขนมปัง (Zobel and Kulp, 1996)



ที่มา: Zobel and Kulp, 1996

รูปที่ 2.8 กลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแป้งในการเกิด Staling ในขนมปัง

กลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแป้งจากขนมปังสดไปเป็นขนมปังเก่านั้น เริ่มขึ้นตั้งแต่การอบ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนและน้ำจะทำให้เม็ดแป้ง (starch granule) ซึ่งถูกล้อมรอบด้วยชั้นบางๆของโปรตีนกลูเต็นและอยู่ในรูปอสัณฐาน เกิดการพองตัวและเจลาติไนซ์ อะมิโลสในเม็ดแป้งจะละลายออกมา (leach out) อยู่ในส่วนของน้ำที่ล้อมรอบเม็ดแป้งโดยมีโปรตีนกลูเต็นทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (binder) เม็ดแป้งที่สุกเอาไว้ สายของอะมิโลเพกตินคลายตัวเคลื่อนออกมาอยู่บริเวณผิวของเม็ดแป้ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แป้งเปียก (starch paste) ที่เจลาติไนซ์และยังร้อนประกอบไปด้วยเม็ดแป้งที่พองตัวแขวนลอยอยู่ และมีโมเลกุลของอะมิโลสแพร่กระจายอยู่โดยรอบ จนเมื่ออุณหภูมิขนมปังเริ่มลดลง โมเลกุลอะมิโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดแป้งจะจับกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของขนมปังขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึง 55-60 °C โมเลกุลของอะมิโลเพกตินจะเคลื่อนเข้ามาเกาะกันเองบางส่วน และโมเลกุลของอะมิโลสเคลื่อนที่เข้ามาเกาะกับส่วนกิ่ง (branch) ของโมเลกุลอะมิโลเพกตินบนผิว

ของเม็ดแป้ง เกิดปรากฏการณ์ที่เม็ดแป้งเข้ามาจัดเรียงตัวกันใหม่ (reorder) ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดร่างแหสามมิติโดยโครงสร้างใหม่ของเม็ดแป้งที่สามารถอุ้มน้ำได้และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาในโมเลกุลอีก เรียกว่า การเกิดการคืนตัวของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Zobel and Kulp, 1996)

2.6.2 บทบาทของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินต่อการเกิด Staling ในขนมปัง

การคืนตัวของอะมิโลส จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการอบขนมปัง ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของขนมปัง การคืนตัวของอะมิโลสนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องภายใน 24 ชั่วโมงหลังการอบ จากนั้นอะมิโลเพกตินจะเกิดการคืนตัวอย่างช้าๆ (Knightly, 1996; Zobel and Kulp, 1996) พบว่าในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100-160°C ในขณะที่อะมิโลเพกตินที่คืนตัวจะกลับมาละลายได้ในช่วงอุณหภูมิ 50-60 °C ดังนั้นการนำขนมปังที่เกิด staling มาให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ซึ่งส่งผลให้ขนมปังนุ่มขึ้นและผู้บริโภคยอมรับได้ บ่งชี้ได้ว่าสาเหตุหลักของการเกิด staling ในขนมปังเกิดจากการคืนตัวของอะมิโลเพกตินนั่นเอง (Zobel and Kulp, 1996; กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

การเพิ่มขนาดของผลึกอะมิโลเพกตินทำให้ refractive index ของเนื้อขนมปังเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้เนื้อขนมปังมีความขุ่นเพิ่มขึ้น (Hoseney,1994)

2.7 การป้องกันการเกิด staling ในขนมปัง

วิธีการที่จะชะลอการเกิด staling ในขนมปังนั้น แบ่งได้เป็นวิธีการใหญ่ ๆ ดังนี้

ก) การเลือกกระบวนการผลิตและสูตรที่เหมาะสม

ข) การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษา

ค) การเติมส่วนผสมอื่นๆ เพื่อจุดประสงค์ในการชะลอการเกิด staling และยืดอายุในการเก็บรักษา

2.7.1 การเลือกกระบวนการผลิตและสูตรที่เหมาะสม

จากการทดลองกับขนมปังที่ผลิตขายทางการค้า Kulp , 1979 (อ้างถึงใน Zobel and Kulp , 1996) ได้สรุปให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วการเกิด staling เป็น 3 ประการใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการผลิต สูตรขนมปัง และวิธีการผลิตขนมปัง โดยความ

พยายามที่จะชะลอการเกิด staling ในขนมปังและยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังทำให้มีการศึกษาถึงสาเหตุของการเกิด staling และการแก้ไข ดังนี้

ก) ขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการผลิต

Matz (1960) พบว่าการหมักโดขนมปังในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสม สามารถทำให้ได้ขนมปังคุณภาพดีและคงความสดไว้ได้นาน และ Kulp (1979) (อ้างถึงใน Zobel and Kulp, 1996) พบว่าขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการผลิต เช่น การผสมแป้ง ระยะเวลาการหมัก อัตราเร็วของการอบ ล้วนแล้วแต่มีผลต่อการเกิด staling ในขนมปัง การใช้เวลาผสมแป้งนานเกินไปหรือสั้นเกินไปจะทำให้อายุความสดของขนมปังสั้นลง ส่วนระยะเวลาการหมักที่สั้นเกินไปจะทำให้ขนมปังสดอยู่ได้ไม่นาน แต่หากหมักนานเกินไป ส่วนของเนื้อขนมปังจะสดอยู่ได้นานแต่เปลือกขนมปังจะเกิด staling เร็ว และยังพบว่าอัตราเร็วในการอบมีผลต่อความสดของขนมปังเช่นเดียวกัน โดยการอบที่ช่วงเวลาสั้นจะช่วยยืดระยะความสดของขนมปังไว้ได้นานกว่า นอกจากนั้น Kent (1983) พบว่าระหว่างการพักขนมปังที่อบเสร็จให้เย็นตัวลงในการผลิตขนมปังทางการค้า หากมีการผ่านกระแสลมอุณหภูมิ 21 °C ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 80% สวนทาง (counter current) กับขนมปังจะทำให้ขนมปังเย็นตัวลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในเนื้อและเปลือกขนมปังมากนัก ส่งผลให้ขนมปังเกิด staling ช้าลง

ข) สูตรขนมปัง

ส่วนประกอบต่าง ๆ ในสูตรขนมปังมีส่วนสำคัญต่ออัตราเร็วในการเกิด staling ในขนมปังเช่นกัน โดย Meisner and Bechtel, 1954 (อ้างถึงใน Zobel and Kulp, 1996) พบว่าหลังจากการเก็บขนมปังเป็นเวลา 6 วัน ผู้บริโภคยังคงยอมรับสูตรที่ทำให้เนื้อขนมปังมีปริมาณความชื้นมากขึ้น 2% ของปริมาณความชื้นเดิมในสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้น Kulp พบว่าปริมาณโปรตีนในแป้ง ปริมาณน้ำตาลในสูตร ปริมาณเดกซ์ทรินและโอลิโกซัคคาไรด์ (Oligosaccharide) ที่เติมลงไปและปริมาณน้ำที่เหมาะสม เป็นส่วนประกอบที่ส่งผลในทางบวกต่อการยืดอายุความสดทั้งส่วนเนื้อและส่วนเปลือกของขนมปัง ส่วนไขมันทำให้ความสดของเปลือกขนมปังสั้นลง แต่ยืดอายุความสดของเนื้อขนมปังให้นานขึ้น ในทางตรงข้ามนมจะช่วยคงความสดของส่วนเปลือกแต่ทำให้อายุความสดของเนื้อขนมปังสั้นลง และพบว่าเกลือไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านความสดของขนมปัง

นอกจากนี้ คุณสมบัติของแป้งก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสดของขนมปัง กล่าวคือ แป้งที่มีปริมาณโปรตีนพอเหมาะที่จะทำให้โดมีความอ่อนนุ่มและยืดตัวได้ดี จะมีความแข็งแรงในการกักเก็บก๊าซในเนื้อโดได้ดีเมื่อเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหมัก และแป้งที่มีปริมาณเม็ดแป้งที่แตกเสียหายจากการโม่พอเหมาะจะทำให้เอนไซม์อะมิเลสเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ทำให้มีการย่อยโมเลกุลแป้งแตกตัวเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว ยีสต์ก็จะสามารถใช้น้ำตาลในการหมักได้ดี ส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก นอกจากนั้นแป้งที่มีปริมาณเอนไซม์ β-amylase และ α-amylase พอเหมาะจะทำให้การหมักเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ สมบัติเหล่านี้ช่วยให้ขนมปังมีคุณภาพดีและคงความสดไว้ได้นานขึ้น (Kent, 1983)

ค) วิธีการผลิตขนมปัง

วิธีการผลิตขนมปังที่เป็นที่รู้จักกันทั่วไปมีหลายวิธีดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.4.2 (วิธีการผลิตขนมปัง) จากงานวิจัยของ Kulp (1979) สรุปว่าวิธีการทำขนมปังที่ต่างกันมีผลต่อความสดของขนมปัง โดยเมื่อเปรียบเทียบวิธีต่างๆกัน พบว่ากรรมวิธีผลิตแบบ Continuous mixing จะทำให้ขนมปังนุ่มอยู่ได้นานที่สุด ในขณะที่การหมักแบบ No-time dough ส่งผลให้เนื้อและเปลือกขนมปังแข็งที่สุด Kent (1983) รายงานว่าวิธีการผลิตขนมปังแบบ No-time dough ทำให้ได้ขนมปังที่มีเนื้อหยาบร่วน มีผนังเซลล์หนาและเกิด staling รวดเร็ว

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ได้พยายามศึกษาเปรียบเทียบข้อได้เปรียบของการหมักขนมปังแบบที่ใช้เชื้อแบคทีเรียร่วมกับยีสต์ หรือที่เรียกว่า Sourdough โดยเปรียบเทียบกับการหมักขนมปังโดยใช้ยีสต์เพียงอย่างเดียว Corsetti และคณะ (1998) ศึกษาผลของการใช้ Lactic Acid Bacteria (LAB) หลายชนิดร่วมกับยีสต์ในการหมักขนมปังเปรียบเทียบกับการหมักขนมปังโดยการใช้ยีสต์เพียงอย่างเดียว โดยเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ *Lactobacillus sanfrancisco* CB1, *Lactobacillus fructivorans* DD10, *Lactobacillus plantarum* DC400 และ *Lactobacillus farciminis* A80 เชื้อยีสต์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* 141, *Saccharomyces exiguus* M14 และ baker's yeast ที่ใช้ทางการค้าทั่วไป

ผลที่ได้พบว่า *L. sanfrancisco* CB1 มีผลต่อการย่อยพันธะ gluten-starch ในระดับโมเลกุลและส่งผลในการชะลอการเกิด staling แต่ในขณะเดียวกันกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นส่งผลลบต่อค่าความนุ่มของเนื้อขนมปังและยังพบว่าการใช้ LAB สายพันธุ์ *L. plantarum* DC 400 ร่วมกับการใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* 141 ในการหมักขนมปังช่วยยืดระยะเวลาการเกิด staling ออกไปและช่วยชะลอการแข็งของเนื้อขนมปังลงได้ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาตรของขนมปังไม่มีผลต่อการเกิด staling ในขนมปัง

2.7.2) <u>การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษา</u>

การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษาอาจทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิ ปริมาณก๊าซออกซิเจน และปริมาณความชื้น โดยตัวอย่างของผลของอุณหภูมิในการเก็บต่อการเกิด staling ในขนมปังมีดังนี้

Zobel and Kulp (1996) สรุปว่าการเกิดเป็นผลึกใหม่ของแป้งในเนื้อขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 30-43 °C เกิดขึ้นน้อยกว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 4-21 °C ส่งผลให้เนื้อขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 30-43 °C มีค่าความแข็งน้อยกว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 4-21 °C สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kent (1983) ซึ่งพบว่าการเก็บขนมปังที่อุณหภูมิสูงกว่า 55 °C จะช่วยลดการเกิด staling แต่จะทำให้เปลือกขนมปังสูญเสียความกรอบและอาจทำให้ขนมปังเสื่อมเสียจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น และ Knightly (1996) พบว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาในการเกิด staling นานกว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 17 °C

วิธีที่นิยมใช้ในการเก็บขนมปังคือการเก็บที่อุณหภูมิ -20 °C วิธีนี้สามารถเก็บรักษาขนมปังไว้ได้เป็นเวลานานโดยเมื่อนำขนมปังที่แช่แข็งออกมาทิ้งให้น้ำแข็งละลาย (thaw) จะได้ขนมปังที่มีลักษณะเหมือนขนมปังใหม่ (Kent, 1983)

อีกวิธีหนึ่งที่ได้ผลดีในการช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปังระหว่างการเก็บคือการเก็บขนมปังภายใต้บรรยากาศของก๊าซอื่น หรือที่เรียกว่า Modified Atmosphere Packaging (MAP) Avital และคณะ (1990) ได้ศึกษาผลของการเก็บขนมปังขาวของอิสราเอลภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการเกิด staling และพบว่าการเก็บขนมปังภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีส่วนช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปัง โดยอาจเกิดจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปขวางกั้น water-binding sites บนสายของอะมิโลเพกตินทำให้จำนวนพันธะไฮโดรเจนที่จะเกิดขึ้นระหว่างสายของอะมิโลเพกตินลดลง จึงทำให้ขนมปังเกิด staling ได้น้อยลง นอกจากนั้น Avital และคณะ (1990) ยังพบว่าขนมปังที่บรรจุภายใต้อากาศมีราเจริญขึ้นหลังจากเก็บได้ 10 วัน ในขณะที่ขนมปังที่บรรจุภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระยะเวลาเท่ากันไม่มีการเจริญของราเกิดขึ้น ดังนั้นการเก็บขนมปังภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังช่วยลดการเสื่อมสภาพของขนมปังจากการเจริญเติบโตของเชื้อราด้วย

Smith และ Simpson (1996) สรุปว่าอัตราการเกิด staling ในขนมปังขาว ขนมปังโฮลวีท ขนมปังฝรั่งเศส รวมทั้งบิสกิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อบรรจุภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100% และผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายใต้อากาศธรรมดา โดย Smith และ Simpson (1996) พบว่าการใช้ก๊าซใน MAP สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบสามารถใช้ก๊าซชนิดเดียวหรือใช้เป็นก๊าซผสม ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยได้สรุปอัตราส่วนของก๊าซที่เหมาะสมระหว่างก๊าซ CO_2/N_2 สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบแต่ละชนิดไว้ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนั้นการเก็บผลิตภัณฑ์ขนมอบภายใต้บรรยากาศของก๊าซที่เหมาะสมจะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีอายุ

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยจะสังเกตว่าขนมปังที่บรรจุในบรรยากาศของก๊าซที่เหมาะสมจะสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ถึง 6 สัปดาห์

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของก๊าซผสมสำหรับการเก็บผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์	CO_2	N_2
ขนมปังแผ่น (Sliced bread)	100	-
ขนมปังข้าวไรย์ (Rye bread)	100	-
ครัวซอง (Croissants)	100	-
ขนมปังก้อน (Buns)	100	-
มาดิราเค้ก (Madeira cakes)	80	20
ทีเค้ก (Teacakes)	50	50
เดนิชเพสทรี (Danish pastries)	80	20
อิงลิชมัฟฟิน (English muffins)	60	40
ครัมเปต (Crumpets)	60	40
เครป (Crepes)	80	20
ขนมปังไส้กรอก (Sausage rolls)	80	20
ขนมปังพิตา (Pita bread)	99	1
พิซซา (Pizza)	90	10

ที่มา: Smith and Simpson, 1996

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 อายุการเก็บของขนมอบที่เก็บภายใต้บรรยากาศของก๊าซ

ผลิตภัณฑ์	อายุการเก็บรักษา
ขนมปัง (Breads)	1-6 สัปดาห์
เค้ก (Cakes)	3-9 เดือน
ครัวซอง (Croissants)	15-25 วัน
โดนัท (Doughnuts)	อยู่ได้ถึง 25 วัน
อิงลิชมัฟฟิน (English muffins)	อยู่ได้ถึง 3 สัปดาห์
เพสทรี (Pastries)	อยู่ได้ถึง 45 วัน
แป้งพิซซา (Pizza crusts)	1-2 เดือน

ที่มา: Smith and Simpson, 1996

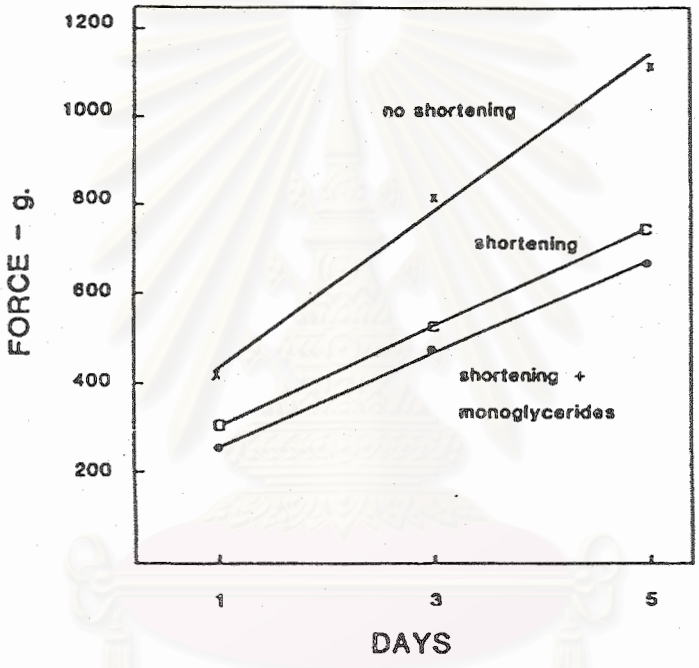
2.7.3 <u>การเติมส่วนผสมอื่นๆเพื่อจุดประสงค์ในการชะลอการเกิด staling และยืดอายุในการเก็บรักษา</u>

การเติมส่วนผสมอื่นๆ อาทิเช่น สารประเภทเซอร์แฟคแทนท์ (surfactants) เอนไซม์ แป้งดิบหรือแป้งธรรมชาติ (native starch) หรือแป้งดัดแปร (modified starch) ลงไปในสูตรขนมปังช่วยลดการเกิด staling ในขนมปัง ตัวอย่างของส่วนผสมที่ช่วยลดการเกิด staling ในขนมปังได้แก่

ก) ไขมันและเซอร์แฟคแทนท์

ไขมันมีคุณสมบัติช่วยยับยั้งหรือลดการเกิด staling โดยพบว่าขนมปังที่มีการเติมไขมันเข้าไปในสูตรจะทำให้ขนมปังนั้นคงความนุ่มไว้ได้นานกว่าขนมปังที่ไม่มีไขมันเป็นส่วนประกอบเลย เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลสที่ละลายออกมาภายนอกเม็ดแป้งจะจับกับไขมันทำให้ไม่สามารถจับกับโมเลกุลของอะมิโลเพกตินได้ในขณะเกิดการคืนตัวของแป้ง จึงลดอัตราการจัดเรียงตัวใหม่ของอะมิโลส-อะมิโลเพกตินลง ส่วนเซอร์แฟคแทนท์เป็นโมเลกุลมีขั้ว สามารถจับกับโมเลกุลของอะมิโลสได้คล้ายกับโมเลกุลกรดไขมันธรรมชาติ ตัวอย่างของเซอร์แฟคแทนท์ที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมขนมปังได้แก่ α-monoglycerides, Sodium Stearoyl-2-Lactylate (SSL), Calcium Stearoyl-2-Lactylate (CSL), Ethoxylated Monoglycerides (EMG), Diacetyl Tartaric Acid Esters of Mono- and Diglycerides (DATEM) (Knightly, 1996)

Ghiasi และคณะ (1984) ได้ศึกษาผลของการใช้ไขมันและการใช้ไขมันร่วมกับเซอร์แฟคแทนท์ต่อความแข็งของเนื้อขนมปังเมื่อเก็บขนมปังไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ได้ผลดังรูปที่ 2.9 พบว่าขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่เติมไขมันมีความแข็งมากกว่าสูตรที่เติมไขมันและสูตรที่เติมไขมันร่วมกับเซอร์แฟคแทนท์ ตั้งแต่วันแรกของการเก็บ โดยค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บ และพบว่าการใช้เซอร์แฟคแทนท์ร่วมกับไขมันจะช่วยทำให้ขนมปังมีความแข็งน้อยที่สุดตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บ



ที่มา: Ghiasi และคณะ, 1984

รูปที่ 2.9 ผลของการใช้ไขมันและไขมันร่วมกับเซอร์แฟคแทนท์ต่ออัตราการเพิ่มของความแข็งของเนื้อขนมปัง

ข) เอนไซม์

การทำขนมปังในสมัยก่อนนิยมเติมมอลต์ข้าวสาลีหรือมอลต์ข้าวบาร์เลย์ลงไปในขนมปังเพื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ แต่ปัจจุบันหันมาใช้เอนไซม์ α-amylase ที่ผลิตได้จากเชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรียแทนการใช้มอลต์ในการผลิตขนมปัง

Morgan และคณะ (1997) ศึกษาผลของเอนไซม์ α-amylase จากเชื้อแบคทีเรียต่อสมบัติด้านการป้องกันการเกิด staling ในขนมปัง พบว่าจากการวัดการเกิดการคืนตัวของแป้งในเนื้อขนมปังที่เก็บไว้ตั้งแต่วันที่ 1-6 ด้วย ^{13}C NMR ผลที่ได้พบว่าขนมปังสูตรที่ไม่ได้เติม

เอนไซม์ α-amylase เกิดการคืนตัวอย่างมากในวันสุดท้ายของการเก็บเมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกของการเก็บโดยการคืนตัวของแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-4 ของการเก็บ ส่วนขนมปังที่เติมเอนไซม์ α-amylase พบว่าแป้งเกิดการคืนตัวต่ำมาก แต่จากการติดตามผลการเกิดการคืนตัวของแป้งด้วย ^{13}C NMR ที่เวลาเก็บ 0 วันหรือหลังจากการอบ พบว่าขนมปังที่เติมเอนไซม์จะแสดงผลว่ามีการคืนตัวสูงกว่าขนมปังสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเอนไซม์จะไปทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อยลง ทำให้ส่วนผลึกของอะมิโลเพกตินละลายได้น้อยลงและจากการที่มีส่วนผลึกเหลืออยู่มากนี้ทำให้ ^{13}C NMR ตรวจจับได้เหมือนกับว่าขนมปังที่เติมเอนไซม์มีการคืนตัวของแป้งสูงกว่าสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ แต่ในขณะเดียวกันเนื่องจากส่วนผลึกของโมเลกุลอะมิโลเพกตินในขนมปังที่เติมเอนไซม์ละลายได้น้อยลง ทำให้หลังจากเก็บขนมปังไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง โมเลกุลอะมิโลเพกตินจะเข้ามาจัดเรียงตัวกันใหม่ได้น้อยลงเช่นกัน ทำให้ขนมปังที่เติมเอนไซม์เกิดการคืนตัวได้น้อยกว่าขนมปังสูตรที่ไม่มีการเติมเอนไซม์

นอกจากนั้นผลที่สอดคล้องกับผลการวัดการเกิดการคืนตัวของแป้งด้วย ^{13}C NMR คือขนมปังสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ α-amylase มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นมากหลังจากเก็บขนมปังเป็นเวลา 6 วันเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรที่เติมเอนไซม์ โดยค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเก็บ 1-4 วันแรก เช่นเดียวกับผลการติดตามการเกิดการคืนตัวของแป้งด้วย ^{13}C NMR ซึ่งขนมปังสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ α-amylase มีการคืนตัวของแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-4 ของการเก็บ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเติมเอนไซม์ α-amylase ในขนมปังช่วยลดการเกิด staling ลงได้

ค) แป้งธรรมชาติและแป้งดัดแปร

Ortega-Ojeda และ Eliasson (2001) ให้เหตุผลว่าในปัจจุบันกระแสความตื่นตัวด้านสุขภาพและแนวโน้มความนิยมของผู้บริโภคผลักดันให้ผู้ผลิตอาหารหันมาใช้ส่วนผสมที่เป็นธรรมชาติมากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับสารเคมี จากการศึกษาผลของการผสมแป้งธรรมชาติหลายชนิดเข้าด้วยกันต่อการเกิดเป็นเจลและการคืนตัวของแป้งผสม พบว่าการเกิดการคืนตัวของแป้งสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งสูงขึ้นและเก็บไว้เป็นเวลานานขึ้น โดยที่สภาวะเดียวกัน น้ำแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวผสมแป้งข้าวบาร์เลย์ในอัตราส่วน 25:75 ความเข้มข้นของน้ำแป้ง 20 % มีค่าเอนธาลปีของการคืนตัว (retrogradation enthalpy) ต่ำสุด รองลงมาคือส่วนผสมของน้ำแป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวบาร์เลย์ในอัตราส่วน 50:50 ความเข้มข้นของน้ำแป้ง 50 %

การผสมแป้งธรรมชาติเข้าด้วยกันเป็นการช่วยปรับอัตราส่วนของปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกติน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดการคืนตัวของแป้ง จากหลักการนี้

สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดการเกิด staling ได้อีกทางหนึ่ง

นอกจากนี้การเติมแป้งดัดแปรลงในสูตร จัดเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมขนมอบเพื่อปรับปรุงคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ Karaoglu และคณะ (2001) ได้ศึกษาผลของแป้งดัดแปรชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของเค้ก โดยแป้งที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ แป้งข้าวโพดดิบและแป้งข้าวโพดดัดแปรชนิดต่างๆ ได้แก่ pregelatinized modified starch, modified starch thinned with acid, cross-linked modified starch และ dextrinized modified starch

จากผลการทดลองของ Karaoglu และคณะ (2001) พบว่าการเติมแป้งข้าวโพดดัดแปรชนิด pregelatinized modified starch ในปริมาณ 10% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด นอกจากจะช่วยเพิ่มคุณภาพของลักษณะสัมผัสของเนื้อเค้กแล้วยังช่วยลดการแข็งของเนื้อเค้กหลังจากการเก็บลงได้อีกด้วย

Hibi (2001) ศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวต่อการเกิด staling ในขนมปัง พบว่าขนมปังที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวที่ทำให้เกิดการคืนตัวเป็นเวลา 7 วัน ได้คะแนนด้านความชุ่มชื้น (moistness) ความแข็ง (firmness) และรสชาติ (taste) สูงกว่าขนมปังสูตรที่ทำจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียวหรือสูตรควบคุม และสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวดิบอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งมีค่าการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดด้วย และยังพบว่าขนมปังที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวดิบและแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวมีค่า degree of gelatinization สูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าขนมปังสูตรควบคุมมีค่าความแข็งต่ำที่สุดในวันแรกของการเก็บแต่กลับสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ของการเก็บ และมีค่าความแข็งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับขนมปังสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวดิบและสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวในวันสุดท้ายของการเก็บ โดยค่าความแข็งของขนมปังสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวเกือบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลยระหว่างการเก็บวันที่ 2 และ 3 นอกจากนี้ยังพบว่าในวันสุดท้ายของการเก็บค่าความแข็งของขนมปังที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวจะมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นการเติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวจึงมีส่วนช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปังได้เช่นกัน

2.8 การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งชนิดอื่นในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งชนิดอื่นในผลิตภัณฑ์ขนมอบ อาจมีจุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตโดยการใช้แป้งที่สามารถผลิตได้ในท้องถิ่น หรืออาจมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีแต่ละชนิดต้องการลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของแป้งสาลีในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้น ชนิดและอัตราส่วนของแป้งชนิดอื่นๆที่นำมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบจึงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้นๆ จากการศึกษาที่ผ่านมา ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีการใช้แป้งชนิดอื่นๆทดแทนแป้งสาลี ได้แก่ ขนมปัง คุ้กกี้ พาย บิสกิต เป็นต้น โดยแป้งที่นำมาใช้ศึกษาเพื่อทดแทนแป้งสาลีมีหลายชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวบาร์เลย์ แป้งข้าวไรย์ แป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง และแป้งถั่วเหลือง เป็นต้น (Dendy and Clarke, 1970; Kent, 1983; เสาวลักษณ์ ควรถนอม, 2526; พรดี ชนะนิธิธรรม, 2529) และเมื่อมีการเติมแป้งมันสำปะหลังเพียงชนิดเดียวลงไปในสูตรขนมปัง พบว่าปริมาตรของขนมปังจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังสูงขึ้น และสามารถเติมแป้งมันสำปะหลังได้จนถึงระดับ 30% ของการทดแทนแป้งสาลี (Altschul, 1974) งานวิจัยต่อมารายงานว่าในผลิตภัณฑ์ขนมปังสามารถเติมแป้งที่ไม่ใช่แป้งสาลี (non-wheat flour) เช่น แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวฟ่างในอัตราส่วนต่างๆกันที่รวมกันแล้วได้สูงสุดถึง 40% (Pomeranz, 1978) นอกจากนั้นการใช้สารเสริมคุณภาพประเภท Stearoyl Lactylates เช่น Calcium Stearoyl-2-Lactylate (CSL) และ Sodium Stearoyl-2-Lactylate (SSL) สามารถทำให้ขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี 70 ส่วน แป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวโพด 25 ส่วน และแป้งถั่วเหลือง 5 ส่วนมีคุณภาพดีเทียบเท่ากับขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียวในด้านของสีของเนื้อขนมปัง ปริมาตรของขนมปัง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปัง (Kent, 1983)

2.8.1 <u>แป้งมันสำปะหลัง</u>

มันสำปะหลัง (cassava หรือ tapioca) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta Crantz.* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกาใต้ ปัจจุบันมีการปลูกมันสำปะหลังมากในประเทศเขตร้อนแถบอาฟริกา เอเชียและอเมริกาใต้ โดยประเทศไทยมีกำลังการผลิตมันสำปะหลังสูงเป็นอันดับต้นๆในภูมิภาคแถบเอเชีย (FAO, 1998)

อุตสาหกรรมแป้งในประเทศไทยถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปทางเกษตรกรรมหลักของประเทศ ซึ่งแป้งที่ผลิตได้มากที่สุดในประเทศไทยคือ แป้งมันสำปะหลัง โดยมีการใช้แป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ การผลิตผงชูรส การผลิตสารให้ความหวาน การผลิตกระดาษ การผลิตสาคู การผลิตไม้อัดและสิ่งทอ นอกจากนั้นเป็นการใช้เพื่อบริโภคภายในครัวเรือน จากการใช้ประโยชน์ของแป้งมันสำปะหลังที่กล่าวมาแล้ว พบว่าในประเทศไทยมีการใช้แป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมอาหารเพียง 2% ของปริมาณแป้งที่ผลิตได้ทั้งหมด (สมาคม

การค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2540 อ้างถึงในกล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือมีความบริสุทธิ์สูง โดยจะมีแป้งอยู่มากกว่า 95% และมีปริมาณโปรตีนและไขมันอยู่ค่อนข้างต่ำ มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ และมีปริมาณอะมิโลสประมาณ 18-23% (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ จึงมีความสามารถในการพองตัวที่ดีและมีค่าความสามารถในการละลายได้ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการพองตัวสูง อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 58-70°C แป้งมันสำปะหลังเมื่อได้รับความร้อน จะมีค่าความสามารถในการพองตัวสูงจึงให้ความหนืดสูง แต่แป้งเปียกที่ร้อนและได้รับแรงกลอย่างต่อเนื่องของแป้งมันสำปะหลังจะมีความหนืดลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อแป้งเปียกของแป้งมันสำปะหลังเย็นตัวลง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างต่ำทำให้เกิดการจับกันของหมู่ไฮดรอกซิลของ อะมิโลสในระหว่างเย็นตัวต่ำจึงเกิดการคืนตัวได้น้อย (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Varavinit, Anuntavuttikul and Shobsngob, 2000) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืดกับแป้งสาลี พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด ความหนืดสุดท้ายและการคืนตัวต่ำกว่าแป้งสาลี

2.8.2 <u>แป้งคืนตัว</u> (retrograded starch)

แป้งคืนตัวเป็นแป้งพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch) ชนิดหนึ่ง เกิดจากการทำให้แป้งที่เกิดเป็นเจลแล้ว (gelatinized starch) คืนตัวโดยการเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แป้งชนิดนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับแป้งพรีเจลาติไนซ์ คือสามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำเย็น ให้ความหนืดได้ทันทีและสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบหรือแป้งธรรมชาติ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) แป้งคืนตัวมีค่าเอนธาลปีในการเกิดเจล (gelatinization enthalpy) ต่ำกว่าแป้งธรรมชาติ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเอนไซม์โดย BAP method พบว่าแป้งคืนตัวมีค่า degree of gelatinization สูงกว่าแป้งธรรมชาติ ดังนั้นแป้งคืนตัวจึงมีความสามารถในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าแป้งธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าคุณสมบัติของแป้งคืนตัวที่แตกต่างไปจากแป้งพรีเจลาติไนซ์ คือ แป้งคืนตัวทำให้โครงสร้างของอะมิโลเพกตินเปลี่ยนไป โดยมีความยาวของสายอะมิโลเพกตินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อะมิโลเพกตินซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิด staling ในผลิตภัณฑ์ขนมอบเข้ามาจับกันเกิดเป็นผลึกใหม่ได้ยากขึ้น (Hibi, 2001)

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

1. แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ (มหาชน) จำกัด
2. แป้งมันสำปะหลังตราปลามังกร
3. น้ำตาลทรายขาว
4. เกลือป่น
5. ยีสต์ผงชนิดจืดตราเฟอร์มิแพน
6. เนยขาวตราครีมทอป
7. สารกันรา (calcium propionate) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ (มหาชน) จำกัด

สารเคมี

1.	Absolute anhydrous ethyl alcohol	analytical grade	(Fluka)
2.	Diethyl ether	analytical grade	(Fluka)
3.	Ethyl alcohol 95%	analytical grade	(Fluka)
4.	Glacial acetic acid	analytical grade	(Merck)
5.	Iodine	analytical grade	(Merck)
6.	Potato amylose	analytical grade	(Sigma)
7.	Potassium iodide	analytical grade	(Merck)
8.	Sodium chloride	analytical grade	(Sigma)
9.	Sodium hydroxide	analytical grade	(Fluka)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์

ก) อุปกรณ์การเตรียมขนมปัง

1. เตาอบอาหารไฟฟ้า Eka อุณหภูมิที่ใช้ 180-250 °C
2. เครื่องปั่นผสม Kenwood และหัวปั่นรูปตะขอ
3. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, BA41003)
4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (WTB Binder, BD) อุณหภูมิที่ใช้ 32 °C
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เทอร์โมมิเตอร์แบบเสียบ ช่วงอุณหภูมิ 0-100 °C สำหรับวัดอุณหภูมิโด
7. เทอร์โมมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิ 0-100 °C สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศ
8. เทอร์โมมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิ 50-350 °C สำหรับวัดอุณหภูมิเตาอบ
9. กระบอกตวงขนาด 500 ml
10. อ่างผสมแป้ง
11. ไม้กลิ้งแป้ง (rolling pin)
12. พิมพ์ขนมปัง ขนาด 4 x 7 x 2 ½ ลูกบาศก์นิ้ว
13. ไม้พายพลาสติก
14. กระชอนร่อนแป้ง
15. มีดแบบฟันเลื่อย
16. ไม้บรรทัด
17. ตะแกรงพักขนม
18. ผ้าขาวบาง
19. แปรงทาเนย
20. แผ่นสแตนเลสตัดโด
21. ถุงพลาสติก Polyethylene (PE) ขนาด 12 นิ้ว x14 นิ้ว

ข) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมแป้งคืนตัว

1. บีกเกอร์ขนาด 2000 ml
2. ไม้พายโลหะ
3. นาฬิกาจับเวลา
4. เทอร์โมมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิ 0-100 °C
5. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, BA41003)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. Water bath (Heto, DT1) อุณหภูมิที่ใช้ 100 °C
7. ตู้เย็น (Mitsubishi, MR-18J) อุณหภูมิที่ใช้ 5 °C
8. ถุงพลาสติก Polyethylene (PE) ขนาด 8 นิ้ว x11 นิ้ว
9. Freeze dryer อุณหภูมิ heating plate 40-80 °C, pressure 0.2-0.6 mbar
10. เครื่องปั่นอาหาร (Moulinex, Type719)
11. ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh

ค) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเนื้อขนมปังแห้ง

1. ตู้ดูดควัน (Astec, Sensair)
2. Suction pump
3. กระดาษกรอง Whatman No. 1
4. โกร่ง
5. ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh
6. เครื่องแก้วต่างๆ

ง) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

1. Rapid Visco Analyzer (RVA, 4D)
2. Farinograph (Brabender, large mixing bowl 300g)
3. Extensograph (Brabender, large mixing bowl 300g)
4. Texturometer (Texture Analyzer, TA-XT2)
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, BA41003) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, BP210S) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. กระบอกตวง 1000 ml
8. ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 12 x 20 x 14 cm^3
9. ไม้บรรทัด
10. Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Mettler Toledo, DSC822)

จ) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

1. ตู้อบลมร้อน (WTB Binder, E-53) อุณหภูมิที่ใช้ 100-105 °C
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, BA41003) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, BP210S) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4. Dessiccator (Wertheim, GL)
5. Spectrophotometer (Perkin Elmer, Lamda25) ความยาวคลื่น 620 nm
6. เครื่องแก้วต่างๆ
7. ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด

ฉ) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัส

1. จานสีขาว
2. แก้วน้ำ
3. ถุงพลาสติก Polyethylene (PE) ขนาด 3 นิ้ว x 5 นิ้ว
4. ถาดเสิร์ฟ
5. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ช) อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS)

วิธีการวิเคราะห์

ก) วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

1. การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งโดยเครื่อง RVA
2. คุณสมบัติทางกายภาพในการเกิดเป็นโดของแป้งโดยเครื่อง Farinograph
3. คุณสมบัติทางกายภาพในการเกิดเป็นโดของแป้งโดยเครื่อง Extensograph
4. ความสูงของขนมปังหลังอบเทียบกับก่อนอบ (oven spring)
5. ปริมาตรจำเพาะ (specific volume)
6. ความแข็ง (hardness) โดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร
7. สมบัติทางความร้อนของแป้งขนมปังโดยเครื่อง DSC

ข) วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

1. ปริมาณอะมิโลสในแป้ง ดัดแปลงจากวิธี AACC 2000
2. ปริมาณความชื้น (moisture content) ดัดแปลงจากวิธี AACC 2000

ค) วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัส (รายละเอียดในภาคผนวก ค)

ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 12-15 คน (Brennan, 1984) ได้รับความร่วมมือจากนิสิตปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่ชอบรับประทานขนมปัง การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบทำโดยบรรจุขนมปังตัวอย่าง 1 แผ่นในถุงพลาสติก PE แล้วปิดผนึกให้สนิท ระบุรหัสตัวอย่าง วางบนจานสีขาวเสิร์ฟพร้อมน้ำดื่ม ใช้แบบทดสอบดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค ดังนี้

1. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในขนมปัง

2. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อการเกิด staling ในขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาสมบัติของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง

แป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง และแป้งมันสำปะหลัง ศึกษาสมบัติของแป้งทั้ง 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

3.1.1 วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในแป้งโดยวิธี AACC 2000 (ภาคผนวก ข.1)

3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลังโดยเครื่อง RVA (ภาคผนวก ก.1) ประเมินค่าความหนืดสูงสุด หรือค่า peak viscosity ความหนืดต่ำสุด หรือค่า trough viscosity ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด หรือค่า breakdown ความหนืดสุดท้าย หรือค่า final viscosity เวลาที่ใช้ในการเกิดความหนืดสูงสุด หรือค่า peak time อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด หรือค่า pasting temperature และการคืนตัว หรือค่า setback จากกราฟความหนืดที่ได้ (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

3.2 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในขนมปัง

เพื่อศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในขนมปัง การทดลองขั้นตอนนี้จึงแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

ก) ขั้นตอนแรกศึกษาสมบัติการเกิดโดของแป้งผสมด้วยเครื่อง Farinograph และ Extensograph

ข) ขั้นตอนที่สองศึกษาสมบัติของส่วนผสมแป้งสูตรต่างๆโดยการทำขนมปัง หรือ baking test เพื่อนำผลที่ได้ไปพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Farinograph และ Extensograph กับลักษณะปรากฏของขนมปัง

ขั้นตอนการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 <u>ศึกษาสมบัติการเกิดโดของแป้งผสม</u>

ผสมแป้งสาลีและแป้งมันเป็น 4 สูตร ได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BT10: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 10% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BT15: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 15% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

3.2.1.1 วิเคราะห์การเกิดโด (dough) ของส่วนผสมแป้งด้วยเครื่อง Farinograph ตามวิธี AACC 2000 (ภาคผนวก ก.2) จากกราฟที่ได้จะนำมาประเมิน ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง (water absorption) เวลาที่ใช้ในการเกิดโด (development time) ความเสถียรของโด (dough stability) เวลาที่โดขาด (time to breakdown) และ ค่าดัชนีการผสม (Mechanical Tolerance Index; MTI)

3.2.1.2วิเคราะห์ความแข็งแรงของโดของส่วนผสมแป้งด้วยเครื่อง Extensograph ตามวิธี AACC 2000 (ภาคผนวก ก.3) จากกราฟที่ได้จะนำมาประเมิน ค่าความคงทนต่อแรงยืดของโด (resistance) ความสามารถในการยืดของโด (extensibility) และอัตราส่วนความคงทนต่อแรงยืดของโด ต่อความสามารถในการยืดของโด (ratio figure)

3.2.2 <u>ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในขนมปัง</u>

โดยทำขนมปังจากแป้งผสม 4 สูตร ได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BT10: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 10% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BT15: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 15% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

การทำขนมปัง มีขั้นตอนดังนี้

ส่วนผสม

แป้ง	500 g
ยีสต์	5 g
ไขมัน	25 g
น้ำตาล	25 g
เกลือ	7.5 g
น้ำ	300 ml
สารกันรา	1.5 g
oxidizing agent	5 g

วิธีการทำขนมปัง

1) ผสมส่วนผสมแห้ง ได้แก่ แป้ง ยีสต์ สารกันรา และ oxidizing agent (หากมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง ผสมในขั้นตอนนี้) ร่อนส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน 2 ครั้งให้ส่วนผสมกระจายตัวทั่ว จากนั้นเทลงในอ่างผสมเครื่อง Kenwood mixer คนด้วยไม้พายพลาสติกให้เข้ากันอีกครั้ง

2) ละลายเกลือและน้ำตาลในน้ำ 300 ml เทลงในส่วนผสมแห้ง (อาจใช้น้ำเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิโดไม่ให้เกิน 30 °C)

3) ตีปั่นด้วยหัวปั่นรูปตะขอความเร็วระดับ 3 เวลา 1-2 นาที หรือจนส่วนผสมไม่ติดข้างอ่างผสม

4) เติมไขมัน แล้วตีด้วยความเร็วระดับ 6 จนแป้งได้ที่ (5-10 นาที)

5) คลึงโดเป็นก้อนกลม ใส่ในอ่างผสมพลาสติก พักโดไว้ที่ อุณหภูมิ 32 ^{o}C เวลา 1 ชั่วโมง หรือจนโดมีขนาดเป็นสองเท่าของขนาดเดิม

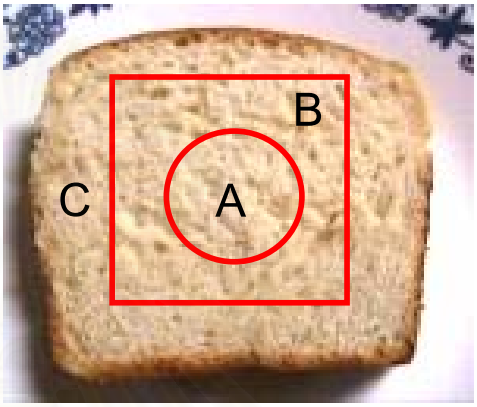
6) ตัดและชั่งน้ำหนักโด ก้อนละ 240-250 g คลึงไล่อากาศด้วยไม้กลิ้งแป้งหรือ rolling pin พับทบโดแล้วคลึงเป็นก้อนกลม พักไว้ 30 นาที ที่ 32 ^{o}C

7) คลึงไล่อากาศ ม้วนโดใส่พิมพ์ขนาด 4 x 7 x 2 ½ ลูกบาศก์นิ้ว พักไว้ที่ 32 ^{o}C เวลา 1 ชั่วโมง หรือจนโดมีความสูงจากพิมพ์ 1 cm

8) อบที่อุณหภูมิ 200 ^{o}C เวลา 25 นาที พักขนมปังที่อบเสร็จแล้วให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ขนมปังที่ได้จะนำมาประเมินผลในด้านสมบัติต่างๆดังนี้

3.2.2.1 ปริมาณความชื้น โดยหั่นขนมปังเป็นแผ่นๆ หนาแผ่นละ ½ นิ้ว บรรจุขนมปังที่หั่นเป็นแผ่นๆแล้วทั้งก้อนในถุง PE ปิดปากถุงให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างเนื้อขนมปังแต่ละแผ่นจากบริเวณ A, B และ C (รูป 3.1) ในปริมาณเท่าๆกัน แล้ววิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธี AACC, 2000 (ภาคผนวก ข.2)



รูปที่ 3.1 บริเวณเนื้อขนมปังที่เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความชื้น

3.2.2.2 ความสูงของขนมปังหลังอบเทียบกับก่อนอบ (oven spring) (ภาคผนวก ก.4)

3.2.2.3 ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) โดยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดข้าวฟ่าง (ภาคผนวก ก.5)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

3.2.2.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับโดยรวม (Setser, 1996) โดยผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 15 คน ใช้แบบทดสอบ Quantitative Descriptive Analysis with Scoring (Larmond,1982) (ภาคผนวก ค.1) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

จากนั้นพิจารณาค่า oven spring ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของขนมปัง และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส เป็นเกณฑ์ในการตัดสินปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในขนมปัง

3.3 ศึกษาผลของการทดแทนแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อคุณภาพในด้านความสดของขนมปัง

การเตรียมแป้งมันสำปะหลังคืนตัว มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.2

เตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 10%(w/v)

↓

ให้ความร้อนใน Water Bath 100 ^{o}C คนด้วยมือจนสารละลายมีอุณหภูมิ 80 ^{o}C

↓

ทิ้งให้เย็นแล้วบรรจุแป้งเปียกในถุงพลาสติก PE เก็บที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C
ทิ้งให้คืนตัวเป็นเวลา 1, 7, 14 และ 35 วัน

↓

ทำแป้งเปียกที่คืนตัวแล้วให้แห้งด้วยวิธี freeze drying เป็นเวลา 20 ชั่วโมง

↓

บดแป้งคืนตัวที่แห้งแล้วให้เป็นผงละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh

↓

บรรจุในภาชนะปิดสนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องสำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

รูปที่ 3.2 การเตรียมแป้งมันสำปะหลังคืนตัว

3.3.1 ศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลังคืนตัวเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดิบ

โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี แป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวโดยเครื่อง RVA (ภาคผนวก ก.1) ประเมินค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด ความหนืดสุดท้าย เวลาที่ใช้ในการเกิดความหนืดสูงสุด อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด และการคืนตัวจากกราฟความหนืดที่ได้

3.3.2 ศึกษาสมบัติการเกิดโดของแป้งผสม

ผสมแป้งสาลีและแป้งมันเป็น 6 สูตร ได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR01: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR07: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 7 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR14: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR35: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 35 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

3.3.2.1 วิเคราะห์การเกิดโดของส่วนผสมแป้งด้วยเครื่อง Farinograph ตามวิธี AACC 2000 (ภาคผนวก ก.2) จากกราฟที่ได้จะนำมาประเมินค่าความ สามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง (water absorption) เวลาที่ใช้ในการเกิดโด (development time) ความเสถียรของโด (dough stability) เวลาที่โดขาด (time to breakdown) และ ค่าดัชนีการผสม (Mechanical Tolerance Index; MTI)

3.3.2.2วิเคราะห์ความแข็งแรงของโดของส่วนผสมแป้งด้วยเครื่อง Extensograph ตามวิธี AACC 2000 (ภาคผนวก ก.3) จากกราฟที่ได้จะนำมาประเมิน ค่าความคงทนต่อแรงยืดของโด ค่าความสามารถในการยืดของโด และอัตราส่วนความคงทนต่อแรงยืดของโดต่อความสามารถในการยืดของโด

3.3.3 ศึกษาผลของแป้งมันดิบและแป้งมันคืนตัวต่อคุณภาพขนมปัง

โดยการทำขนมปัง (ตามขั้นตอนการทำขนมปัง ในหัวข้อ 3.2.2) จากแป้งผสม 5 สูตร ได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR01: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR14: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR35: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 35 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

ขนมปังที่ได้จะนำมาประเมินผลในด้านสมบัติต่างๆ ต่อไปนี้

3.3.3.1 เวลาที่ใช้ในการผสมโดจนได้ที่

3.3.3.2 ปริมาณความชื้น โดยหั่นขนมปังเป็นแผ่นๆ หนาแผ่นละ ½ นิ้ว บรรจุขนมปังที่หั่นเป็นแผ่นๆแล้วทั้งก้อนในถุง PE ปิดปากถุงให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างเนื้อขนมปังแต่ละแผ่นจากบริเวณ A, B และ C (รูป 3.1) ในปริมาณเท่าๆกัน แล้ววิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธี AACC, 2000 (ภาคผนวก ข.2)

3.3.3.3 ความสูงของขนมปังหลังอบเทียบกับก่อนอบ (oven spring) (ภาคผนวก ก.4)

3.3.3.4 ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) โดยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดข้าวฟ่าง (ภาคผนวก ก.5)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range test (Cochran และ Cox, 1992)

3.3.3.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ ความสม่ำเสมอของเซลล์อากาศ การเด้งคืนตัว ความชุ่มชื้น ความแข็งและการยอมรับโดยรวม (Setser, 1996) โดยผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 12 คน ใช้แบบทดสอบ Quantitative Descriptive Analysis with Scaling (Larmond,1982) (ภาคผนวก ค.2) วางแผนการ ทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range test (Cochran และ Cox, 1992)

3.3.4 <u>ศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อคุณภาพด้านความสดของขนมปัง</u>

โดยเก็บขนมปังที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 วัน สุ่มตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและประเมินผลทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.3.4.1ปริมาณความชื้น โดยหั่นขนมปังเป็นแผ่นๆ หนาแผ่นละ ½ นิ้ว บรรจุ ขนมปังที่หั่นเป็นแผ่นๆแล้วทั้งก้อนในถุง PE ปิดปากถุงให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างเนื้อขนม

ปังแต่ละแผ่นจากบริเวณ A, B และ C (รูป 3.1) ในปริมาณเท่าๆกัน แล้ววิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธี AACC, 2000 (ภาคผนวก ข.2)

3.3.4.2 ความแข็ง (Hardness) โดยตัดขนมปังหนา 2 cm กว้าง 5 cm ยาว 5 cm และบริเวณส่วนที่ตัดสูงจากขอบล่างของขนมปัง 1.5 cm ทดสอบค่า ความแข็งของเนื้อขนมปังโดยเครื่อง Texturometer (ภาคผนวก ก.6)

วางแผนการทดลองแบบ 5x7 Factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดย Duncan's new multiple range test (Cochran และ Cox, 1992)

3.3.4.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านการเด้งคืนตัว ความชุ่มชื้น ความแข็งและการยอมรับโดยรวม โดยผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 12 คน ใช้แบบทดสอบ Quantitative Descriptive Analysis with Scaling (ภาคผนวก ค.2) วางแผนการทดลองแบบ 5x7 Factorial in RCBD วิเคราะห์ข้อมูล โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range test (Cochran และ Cox, 1992)

3.3.4.4 ติดตามการรีโทรเกรดของเนื้อขนมปังด้วยเครื่อง DSC (Kim, Wiesenbom *et al*., 1995; Kim, Kim *et al*. 1997; Leon *et al*., 1997; Slade *et al*., 1998) เพื่อหาเอนธาลปี (enthalpy) ของการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรด (Munzing and Brack, 1991) (ภาคผนวก ก.7) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

<u>วิเคราะห์การรีโทรเกรดของเนื้อขนมปัง</u> ดังรูปที่ 3.3 (Hibi, 2000)

ชั่งเนื้อขนมปังที่สุ่มได้ในแต่ละวัน ประมาณ 20 g ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml

↓

ล้างด้วย absolute anhydrous ethyl alcohol 100 ml จากนั้นกรองเอาส่วนใสออก (ล้างซ้ำ 3 ครั้ง)

↓

ชะเนื้อขนมปังที่ล้างด้วย absolute anhydrous ethyl alcohol แล้วด้วย diethyl ether 150 ml

↓

↓

เกลี่ยเนื้อขนมปังให้กระจายทั่วกระจกนาฬิกา
ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องในตู้ดูดควันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

↓

บดตัวอย่างด้วยโกร่งจนละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh

↓

วิเคราะห์ตัวอย่างแห้งเพื่อหาเอนธาลปีของการละลาย
ส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรดด้วยเครื่อง DSC

รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์การรีโทรเกรดของเนื้อขนมปัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาสมบัติของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง

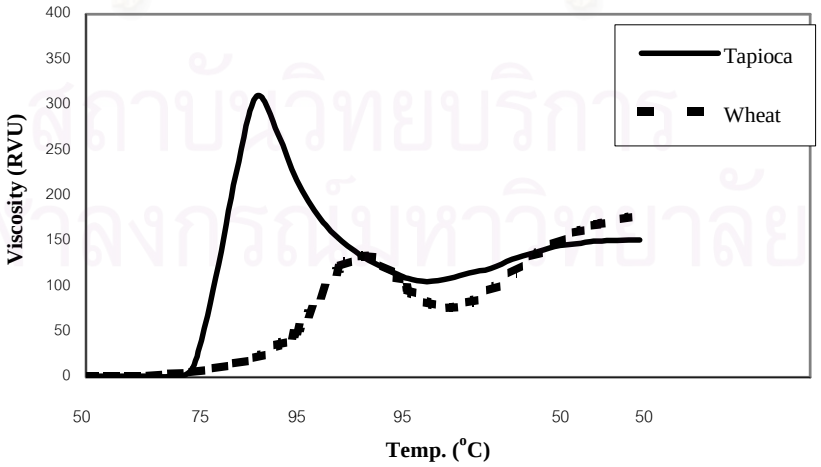
4.1.1 เนื่องจากแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก (primary raw material) ที่ใช้ในการทำขนมปัง สมบัติของแป้งที่ใช้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพของขนมปัง ตั้งแต่สมบัติทางกายภาพในการเกิดโด ซึ่งส่งผลโดยตรงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกลไกการเกิด staling ในขนมปังในเวลาต่อมา (Zobel and Kulp, 1996) การเกิด staling จะสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในแป้ง เนื่องจากอะมิโลสและอะมิโลเพกตินเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดการคืนตัวของแป้ง ดังนั้นงานวิจัยจึงวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทำขนมปังพบว่า แป้งสาลีมีปริมาณอะมิโลส 27.98$\pm$0.57% สูงกว่าแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณอะมิโลส 18.35$\pm$0.32% ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณอะมิโลสในแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง

ชนิดของแป้ง	ปริมาณอะมิโลส (%)
แป้งสาลี (W)	27.98$\pm$0.57
แป้งมันสำปะหลัง (T)	18.35$\pm$0.32

4.1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งขณะให้ความร้อน จะทำให้สามารถบอกได้ถึงสมบัติของแป้งในการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) และสมบัติการคืนตัว (setback) ของแป้งขณะที่แป้งเย็นตัวลง จึงนำแป้งทั้ง 2 ชนิดมาวิเคราะห์สมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA พบว่าแป้งสาลีมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ที่ 134±0 RVU (Rapid Visco Unit) ต่ำกว่าค่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังซึ่งเท่ากับ 310±4 RVU เนื่องจากเม็ดแป้งสาลีมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบของแป้งสาลี ได้แก่ ปริมาณไขมัน และปริมาณอะมิโลสที่สูง โดยอะมิโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้แป้งสาลีพองตัวได้น้อย นอกจากนั้นแป้งสาลียังมีค่าความหนืดสูงสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง แสดงว่าแป้งมันสำปะหลังเกิดการพองตัวได้ง่ายกว่า และเกิดการเจลาติไนซ์ได้ง่ายกว่าแป้งสาลี ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีจำนวนพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าแป้งสาลีและมีการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินภายในเม็ดแป้งอย่างหลวมๆ ทำให้เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวแบบขั้นเดียว ตรงกันข้ามกับเม็ดแป้งสาลีซึ่งมีการพองตัว 2 ขั้น เมื่อเม็ดแป้งมันสำปะหลังได้รับความร้อนทำให้แรงที่ยึดเกาะกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งมันสำปะหลังพองตัวได้ทันทีและเกิดการเจลาติไนซ์ได้ง่าย (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ที่ได้จากกราฟ RVA พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งสาลีเท่ากับ 180±2 RVU สูงกว่าความหนืดสุดท้ายของแป้งมันสำปะหลังซึ่งเท่ากับ 151±1 RVU นอกจากนี้แป้งสาลียังมีค่าการคืนตัว (setback) เท่ากับ 103±3 RVU สูงกว่าการคืนตัวของแป้งมันสำปะหลังซึ่งเท่ากับ 54±1 RVU ด้วย เนื่องจากแป้งสาลีมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังจึงเกิดการคืนตัวสูง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลังด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser

ตัวอย่าง	Peak (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak Time (min)	Pasting Temp. (°C)
W*	134±0	77±1	57±1	180±2	103±3	6.27±0.10	63.55±1.20
T**	310±4	97±1	213±5	151±1	54±1	4.10±0.05	68.40±0.00

* W: แป้งสาลี; **T: แป้งมันสำปะหลัง

จากข้อได้เปรียบทางด้านความแตกต่างของสมบัติการเกิดเจลาติไนเซชัน การคืนตัวและปริมาณอะมิโลสในแป้งทั้งสองชนิดนี้ การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังในสูตรขนมปังจึงน่าจะมีส่วนช่วยในการปรับอัตราส่วนของปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในแป้งผสมซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการเกิดเจลาติไนเซชันและการคืนตัวของส่วนผสมแป้งในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Ortega-Ojeda and Eliasson, 2001)

4.2 ผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในขนมปัง

4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งผสม

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติการเกิดโดของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งมัน 4 สูตรซึ่งได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% ของน้ำหนัก

BT10: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 10% ของน้ำหนัก

BT15: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 15% ของน้ำหนัก

4.2.1.1 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งผสม ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Farinograph (AACC,2000) (Farinogram แสดงในภาคผนวก ง.1) เพื่อติดตามค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งหรือค่า water absorption เวลาที่ใช้ในการเกิดโดหรือค่า dough development time ความเสถียรของโดหรือค่า dough stability เวลาที่โดขาดหรือค่า time to breakdown และค่าดัชนีการผสมหรือค่า Mechanical Tolerance Index ของแป้ง ผลที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของโดมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมแป้งมันสำปะหลังลงไปในระดับที่สูงขึ้นจากการดูดซึมน้ำ 69.3% ในสูตรควบคุม จะลดลงเป็น 67.3, 65.8 และ 65.0% ในสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักแป้งตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากแป้งมันสำปะหลังที่เติมลงไปจะเจือจางปริมาณโปรตีน (protein dilution) ในแป้งสาลีตั้งต้นมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง ในขณะที่โปรตีนสามารถดูดซับน้ำได้ถึง 3 เท่าของน้ำหนักตัวแต่แป้ง (starch) สามารถดูดซับน้ำได้เพียง 0.35 เท่าของน้ำหนักตัวเท่านั้น (Matz, 1978)

เวลาที่ใช้ในการผสมให้เกิดโดมีแนวโน้มลดลงจาก 16.5 นาทีในสูตรควบคุมเป็น 15.0, 13.5 และ 12.0 นาที ตามลำดับในสูตรที่เติมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก protein dilution เช่นกัน ในกรณีของแป้งที่มีโปรตีนสูงต้องการเวลาในการผสมนานเพื่อจะทำให้เกิด gluten network อันเป็นผลเนื่องมาจากการเกิด cross-linking ของโมเลกุลโปรตีน (Kent, 1983)

ค่าความเสถียรของโดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 7.3 นาทีในสูตรควบคุมเป็น 8.0, 8.5 และ 16.0 นาที แต่ค่า time to breakdown มีแนวโน้มลดลงจาก 21.2 นาทีในสูตรควบคุม เป็น 19.0, 18.0 และ 17.5 นาทีตามลำดับในสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักแป้ง จากการศึกษาผลของ Tolerance Index ได้เท่ากับ 35 Brabender Unit (BU) ในสูตรควบคุมและเพิ่มขึ้นเป็น 40, 40 และลดลงเป็น 25 BU ในสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักแป้งตามลำดับ จากผลของค่าความเสถียรของโด time to breakdown และผลของ Tolerance Index พบว่ามีความขัดแย้งของผลที่วิเคราะห์ได้ เนื่องมาจากแป้งสาลีทางการค้าที่ผลิตในประเทศไทยมีการเติมสารเสริมคุณภาพที่เป็นสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ซึ่งมีกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งจะมีผลทำให้กราฟที่ได้จาก Farinograph สั้นลงและทำให้อ่านค่าความเสถียรของโดและค่า Tolerance Index เบี่ยงเบนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก Farinograph กับการทำ baking test หรือการทดสอบจากการอบขนมปังเพื่อชี้บ่งถึงความแข็งแรงของโด (Matz, 1960; Pomeranz and Shallenberger, 1971; Kent, 1983) ต่อไป

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลี และแป้งสาลีผสมแป้งมัน สำปะหลังดิบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Farinograph

	สูตรแป้งผสม			
	BC 00	BT 05	BT10	BT15
Water absorption (%)	69.3	67.3	65.8	65.0
Dough development (min)	16.5	15.0	13.5	12.0
Dough stability (min)	7.3	8.0	8.5	16.0
Time to breakdown (min)	21.2	19.0	18.0	17.5
Tolerance index (BU)	35	40	40	25

4.2.1.2 ความแข็งแรงของโด ศึกษาด้วยเครื่อง Extensograph (AACC,2000) (Extensogram แสดงในภาคผนวก ง.2) เพื่อติดตามค่าความคงทนต่อแรงยืดของโดหรือค่า resistance ความสามารถในการยืดของโดหรือค่า extensibility และอัตราส่วนความคงทนต่อแรงยืดของโดต่อความสามารถในการยืดของโด หรือค่า ratio figure ได้ผลดังตารางที่ 4.4

Matz (1960) กล่าวว่าการที่จะทราบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังจะมีคุณภาพดีหรือไม่ สามารถบ่งบอกได้จากค่า ratio figure ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ resistance/extensibility ไม่มีตัวเลขระบุชัดเจนว่าค่า ratio figure ของแป้งควรเป็นเท่าไร แต่ Matz (1960) พบว่าค่า ratio figure ยิ่งมากโดจะยิ่งมีลักษณะยุ่ยและรีดแผ่ออกได้ยากขึ้น ดังนั้นผลที่ได้จากตาราง 4.4 แม้ค่า resistance ของสูตรที่มีอัตราส่วนการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5, 10 และ 15% ของปริมาณแป้งทั้งหมดที่เวลาการหมัก 45 นาที จะเท่ากับ 620, 675 และ 630 BU ตามลำดับ มากกว่าสูตรควบคุมซึ่งเท่ากับ 550 BU แต่เมื่อพิจารณาค่า ratio figure พบว่าที่เวลาทั้ง 3 ช่วงของการหมัก คือ 45, 90 และ 135 นาที สูตรควบคุมจะมีค่า ratio figure เป็น 3.74, >8.33 และ >9.52 BU/mm ตามลำดับ ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งผสมสูตรอื่นๆ เมื่อพิจารณาค่า extensibility ของโดให้ผลสอดคล้องกันคือสูตรควบคุมมีค่า extensibility เท่ากับ 147, 120 และ 105 BU ที่ระยะเวลาการหมัก 45, 90 และ 135 นาทีตามลำดับ ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งผสมสูตรอื่นๆทั้ง 3 ช่วงเวลา จึงสามารถสรุปได้ว่าโดของสูตรควบคุมมีการยืดตัวและรีดออกได้ดีกว่าสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง ทั้งนี้เกิดจากแป้งสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีนกลูเตนมากกว่าทำให้มี gluten network มากจึงส่งผลให้โดมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นดี

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลีและแป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลังดิบจากการวิเคราะด้วยเครื่อง Extensograph

		สูตรแป้งผสม			
		BC 00	BT 05	BT10	BT15
45 min					
	Area (cm^2)	146	135	159	125
	Resistance (BU)	550	620	675	630
	Extensibility (mm)	147	134	131	128
	Ratio Figure (BU/mm)	3.74	4.63	5.15	4.92
90 min					
	Area (cm^2)	171	135	147	139
	Resistance (BU)	>1000	>1000	>1000	970
	Extensibility (mm)	120	97	106	110
	Ratio Figure (BU/mm)	>8.33	>10.31	>9.43	8.82
135 min					
	Area (cm^2)	144	138	138	120
	Resistance (BU)	>1000	>1000	>1000	>1000
	Extensibility (mm)	105	99	102	90
	Ratio Figure (BU/mm)	>9.52	>10.10	>9.80	>11.11

4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง ในขนมปังโดยการทำ baking test ในขนมปัง 4 สูตร ได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

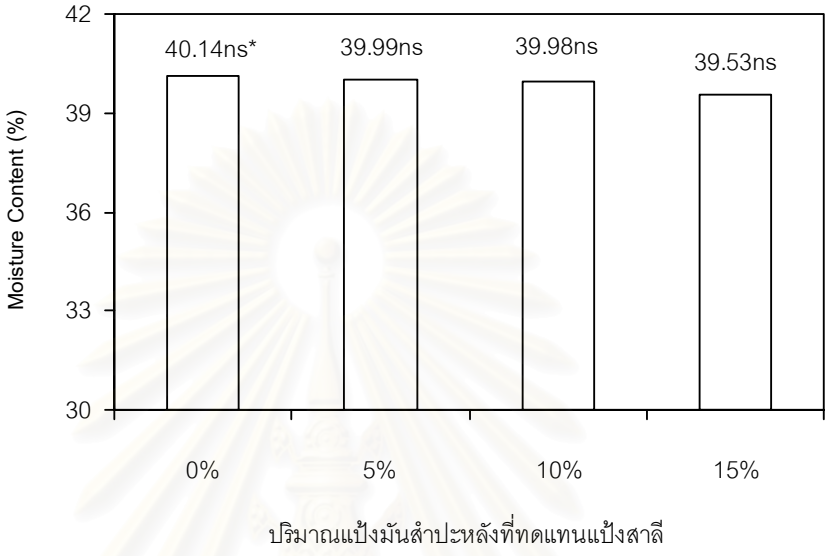
BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% ของน้ำหนัก

BT10: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 10% ของน้ำหนัก

BT15: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 15% ของน้ำหนัก

4.2.2.1 จากรูปที่ 4.2 แสดงปริมาณความชื้นในเนื้อขนมปังสูตรต่างๆ พบว่าความชื้นของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0, 5, 10 และ 15%

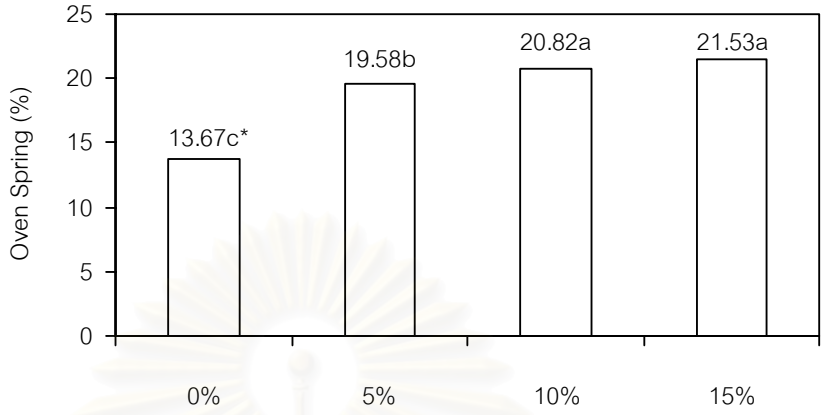
ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด มีความชื้นเท่ากับ 40.14±0.31, 39.99±0.58, 39.98±0.74 และ 39.53±0.68% ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)



* ns: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

รูปที่ 4.2 ปริมาณความชื้นในเนื้อขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง ในระดับต่างๆ

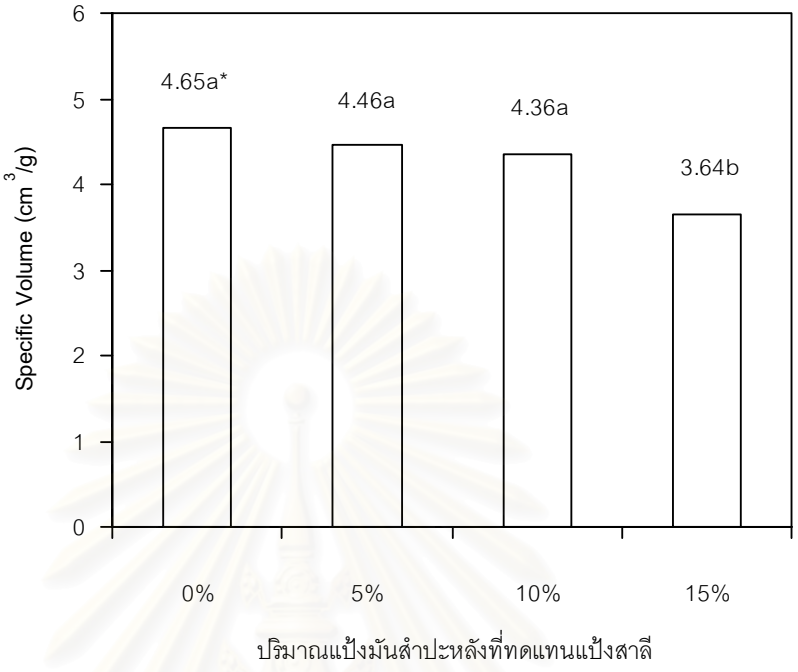
4.2.2.2 ในด้านผลของค่า oven spring แสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังทั้ง 3 สูตรมีค่า oven spring เพิ่มขึ้นจาก 13.67±0.67% ในสูตรควบคุมเป็น 19.58±0.91, 20.82±0.52 และ 21.53±0.84% ในสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5, 10 และ 15% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ระดับ 10 และ 15% มีค่า oven spring มากกว่าสูตรควบคุม และมากกว่าสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในการทดแทนแป้งสาลีส่งผลให้ค่า oven spring ของขนมปังมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการที่โดมีปริมาณโปรตีนกลูเต็นลดลงทำให้มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นลดลง ดังนั้นเมื่อเซลล์อากาศขยายตัวระหว่างการอบเนื้อขนมปังที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าจะยืดออกไปตามการขยายตัวของเซลล์อากาศแต่มีการหดตัวกลับมาได้ไม่ดีจึงส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีค่า oven spring สูง (Matz, 1978)



* a,b,c...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.3 Oven Spring ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ

4.2.2.3 จากการศึกษาปริมาตรจำเพาะ (specific volume) จากรูปที่ 4.4 พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5 และ 10% เท่ากับ 4.46$\pm$0.33 4.36$\pm$0.39 cm^3/g ซึ่งไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่มีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 4.65$\pm$0.21 cm^3/g อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่สูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 15% มีค่าปริมาตรจำเพาะ 3.64$\pm$0.36 cm^3/g ซึ่งน้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของ Altschul (1974) และ Hibi (2001) สาเหตุที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวเนื่องจากขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนกลูเต็นลดลง ทำให้โดมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นลดลง ดังนั้นหลังจากเซลล์อากาศขยายตัวระหว่างการอบ เนื้อขนมปังที่มีโครงสร้างเซลล์ไม่แข็งแรงจะสูญเสียโครงสร้างของเซลล์ไป ทำให้ขนมปังยุบตัว จึงส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีลักษณะคอดตรงกลางก้อนและมีปริมาตรจำเพาะลดลง

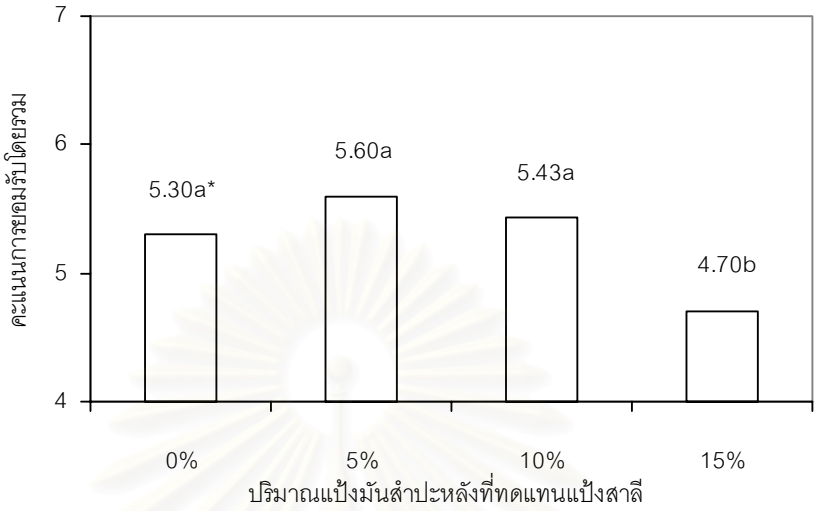


* a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.4 Specific Volume ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี ด้วยแป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ

สรุปได้ว่าระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังที่สูงขึ้นทำให้ขนมปังมี oven spring เพิ่มขึ้นแต่ส่งผลให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง ทั้งนี้เกิดจากการที่โครงสร้างของขนมปังอ่อนแอลงจากระดับโปรตีนที่ลดลงนั่นเอง (Matz, 1978; Kent, 1983)

4.2.2.4 เมื่อนำขนมปังที่ผลิตจากการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 0 5 10 และ 15% มาทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความสม่ำเสมอของเซลล์ ความนุ่ม การเด้งคืนตัวของเนื้อขนมปัง ความชุ่มชื้น และการยอมรับโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างขนมปังทั้ง 4 สูตรในด้านของความสม่ำเสมอของเซลล์ ความนุ่ม การเด้งคืนตัวของเนื้อขนมปัง และความชุ่มชื้น แต่ในด้านของการยอมรับโดยรวม (รูปที่ 4.5) พบว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5 และ 10% ของปริมาณแป้งทั้งหมดเท่ากับ 5.60 ± 0.81 และ 5.43 ± 0.57 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่มีคะแนน 5.30 ± 0.48อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่สูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 15% มีคะแนนการยอมรับโดยรวม 4.70 ± 0.48 น้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



* a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.5 คะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น ค่า oven spring ปริมาตรจำเพาะของขนมปังและคะแนนทางลักษณะสัมผัสของขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5, 10 และ 15% ของปริมาณแป้งทั้งหมด พบว่าขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% และ 10% ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในด้านปริมาณความชื้นและปริมาตรจำเพาะ แต่ขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 5% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด อีกทั้งไม่ทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลงจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกใช้ระดับการทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังสำหรับการทำขนมปังในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 ผลการศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อคุณภาพในด้านความสดของขนมปัง

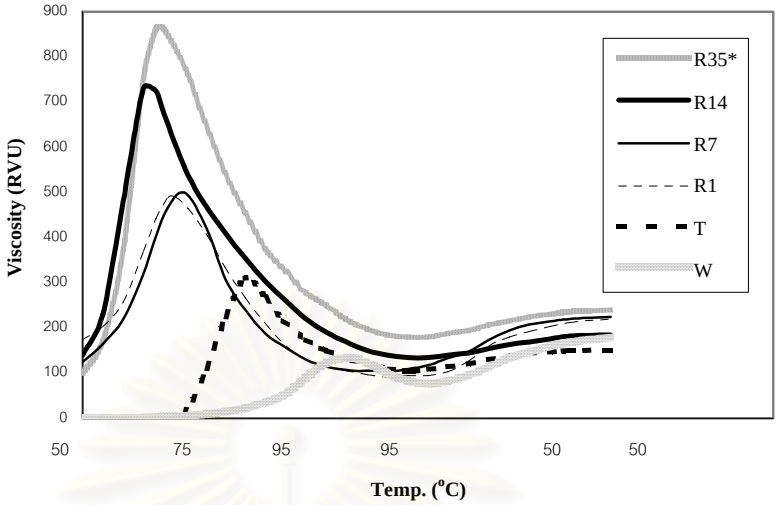
4.3.1 จากการศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลังคืนตัวเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดิบโดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังคืนตัวโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ได้ผลดังตารางที่ 4.5 และรูป 4.6

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งแสดงให้เห็นว่าแป้งสาลีมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 134±0 RVU ซึ่งต่ำที่สุดและมีค่าการคืนตัวสูง (103±3 RVU) ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังดิบมีค่าการคืนตัวต่ำ (54±1 RVU) และมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 310±4 RVU สูงกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งสาลีแต่ต่ำกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7, 14 และ 35 วันซึ่งมีค่าเท่ากับ 489±2, 500±3, 731±5 และ 861±4 RVU ตามลำดับ ส่วนแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 35 วัน มีค่าความหนืดสูงสุดสูงที่สุด รองลงมาคือแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14, 7 และ 1 วันตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่าแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืดต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืดของแป้งดิบทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าแป้งมันสำปะหลังคืนตัวสามารถดูดน้ำได้ทันทีและทำให้เกิดความหนืดได้ทันที

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งสาลี,แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังคืนตัว ที่ระยะเวลาต่างๆ ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser

ตัวอย่าง	Peak (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak Time (min)
W*	134±0	77±1	57±1	180±2	103±3	6.27±0.10
T	310±4	97±1	213±5	151±1	54±1	4.10±0.05
R1	489±2	94±12	395±10	220±1	126±12	2.20±0.00
R7	500±3	106±2	394±1	225±7	119±1	2.50±0.05
R14	731±5	135±2	596±6	185±0	50±1	1.53±0.09
R35	861±4	180±1	681±6	240±2	60±1	1.97±0.05

* W: แป้งสาลี, T: แป้งมันสำปะหลัง, R1,R7,R14,R35: แป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1,7,14 และ 35 วันตามลำดับ



(* W: แป้งสาลี, T: แป้งมันสำปะหลัง, R1,R7,R14,R35: แป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1,7,14 และ 35 วันตามลำดับ)

รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ

4.3.2 จากการศึกษาสมบัติในการเกิดโดของส่วนผสมแป้งด้วยการศึกษาด้วยเครื่อง Farinograph และ Extensograph (AACC,2000) ในส่วนผสมแป้ง 6 สูตร ได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR01: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR07: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 7 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR14: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR35: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 35 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

4.3.2.1 วิเคราะห์การเกิดโดของแป้งผสมด้วยเครื่อง Farinograph (Farinogram แสดงในภาคผนวก ง.1) เพื่อติดตามค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ เวลาที่ใช้ในการเกิดโด ความเสถียรของโด เวลาที่โดขาดและค่าดัชนีการผสมของโดของแป้งผสม ได้ผลดังตาราง 4.6

จากตาราง 4.6 พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวในสูตรขนมปังมีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง โดยพบว่าสูตร BT05 หรือสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบปริมาณ 5% ของน้ำหนัก มีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งลดลงเป็น 67.3% จาก 69.3% ในสูตรควบคุม ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากแป้งมันสำปะหลังที่เติมลงไปจะก่อให้เกิด protein dilution ต่อปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีตั้งต้นและมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนของส่วนผสมแป้งลดลงและดูดซึมน้ำได้น้อยลง (Matz, 1978) แต่ในขณะที่สูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจาก 69.3% ใน สูตรควบคุมเป็น 72.3, 73.3, 73.7 และ 74.2% ในสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7, 14 และ 35 วันตามลำดับ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังคืนตัวเป็นแป้งที่สุกแล้ว เม็ดแป้งมีการพองตัวและดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ดังนั้นแป้งผสมสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวจะทำให้โดมีการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น โดยไม่ทำให้โดที่นวดได้เสียคุณสมบัติไป ดังนั้นหากมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในการทำขนมปังจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นตั้งต้นในเนื้อขนมปังสูงขึ้นและอาจทำให้ผู้บริโภครู้สึกได้ว่าขนมปังมีความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจช่วยในเรื่องของความนุ่มของขนมปังและการยอมรับของผู้บริโภคได้ (Meisner and Bechtel, 1954 อ้างถึงใน Zobel and Kulp, 1996)

จากค่าของเวลาที่ใช้ในการผสมให้เกิดโดให้ผลในทางที่สอดคล้องกัน คือ เมื่อมีการทดแทนแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวลงไปในสูตร ทำให้เวลาที่ใช้ในการฟอร์มตัวของโดมีแนวโน้มลดลงจาก 16.5 นาทีในสูตรควบคุม เป็น 2.3, 2.3, 2.2 และ 2.5 นาทีในสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7, 14 และ 35 วันตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากแป้งมันสำปะหลังคืนตัวเป็นแป้งที่สุกแล้วเม็ดแป้งมีการพองตัวจึงทำให้น้ำสามารถเข้าไปในโมเลกุลของเม็ดแป้งได้ง่ายกว่า แป้งสามารถละลายได้ในน้ำเย็นให้ความหนืดได้ทันทีและเกิดการฟอร์มโครงสร้างของโดได้เร็วขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

เนื่องจากแป้งสาลีทางการค้าที่ผลิตในประเทศไทยมีการเติมสารเสริมคุณภาพที่เป็นสารออกซิไดซ์ ซึ่งมีกรดแอสคอร์บิกเป็นส่วนประกอบ มีผลทำให้กราฟที่ได้จากเครื่อง Farinograph สั้นลงและทำให้อ่านค่าความเสถียรของโด (dough stability) ค่า time to breakdown และค่า Tolerance Index เบี่ยงเบนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก Farinograph กับการทำ baking test หรือการทดสอบจากการอบขนมปัง

ด้วยเพื่อชี้บ่งถึงความแข็งแรงของโด (Matz, 1960; Pomeranz and Shallenberger, 1971; Kent, 1983) ต่อไป

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลี แป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลังคืนตัว จากการวิเคราะด้วยเครื่อง Farinograph

	สูตรแป้งผสม					
	BC 00	BT 05	BR01	BR07	BR14	BR35
Water Absorption (%)	69.3	67.3	72.3	73.3	73.7	74.2
Dough Development (min)	16.5	15.0	2.3	2.3	2.2	2.5
Dough Stability (min)	7.3	8.0	1.2	1.5	1.2	1.7
Time to Breakdown (min)	21.2	19.0	3.3	3.3	3.8	3.5
Tolerance Index (BU)	35	40	100	105	135	115

4.3.2.2 วิเคราะห์ค่าความคงทนต่อแรงยืดของโด ความสามารถในการยืดของโด และอัตราส่วนความคงทนต่อแรงยืดของโดต่อความสามารถในการยืดของโดของแป้งผสมด้วยเครื่อง Extensograph (Extensogram แสดงในภาคผนวก ง.2) ได้ผลดังตารางที่ 4.7

จากตารางที่ 4.7 แป้งผสมสูตรควบคุม มีค่า extensibility ที่เวลาการหมัก 45, 90 และ 135 นาที เท่ากับ 147, 120 และ 105 mm ตามลำดับซึ่งมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ณ ทุกช่วงเวลาการหมัก แสดงว่าโดของสูตรควบคุมมีการยืดหยุ่นดีกว่าสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวเพราะแป้งสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีนกลูเต็นมากกว่า สอดคล้องกับผลจากตาราง 4.4 ในขั้นตอนการทดลองก่อนหน้านี้

แม้ว่าค่า resistance ของสูตร BT05 หรือสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบปริมาณ 5% ของน้ำหนัก ที่เวลา 45 นาทีจะมีค่า 620 BU ซึ่งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นแต่ค่า ratio figure ซึ่งได้จากค่า resistance/extensibility ของแป้งผสมสูตร BT05 มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ณ ทุกช่วงเวลาที่ทดสอบ ซึ่งค่า ratio figure มากนั้นหมายถึงโดจะมีลักษณะเนื้อที่ยุ่ยและรีดแผ่ออกได้ไม่ดี (Matz, 1960) ในขณะที่ ณ เวลา 45 นาที

สูตร BR01, BR14 และ BR35 มีค่า ratio figure น้อยกว่าสูตรควบคุม และที่ระยะเวลาการหมัก 90 นาที พบว่าแป้งผสมทุกสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่า ratio figure น้อยกว่าสูตรควบคุม นอกจากนั้นยังพบว่า ณ เวลาการหมัก 135 นาที สูตร BR01, BR07 และ BR14 มีค่า ratio figure น้อยกว่าสูตรควบคุม และสุดท้ายพบว่าแป้งผสมสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทั้ง 3 ชนิด มีค่า ratio figure น้อยกว่าค่า ratio figure ที่มากที่สุดที่ได้จากสูตร BT05 สรุปได้ว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7 14 และ 35 วันทำให้โดมีความสามารถในการรีดแผ่ออกได้ดี

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางกายภาพในการเกิดโดของแป้งสาลี, แป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลังคืนตัวจากการวิเคราะด้วยเครื่อง Extensograph

		สูตรแป้งผสม					
		BC 00	BT 05	BR01	BR07	BR14	BR35
45 min							
	Area (cm^2)	146	135	89	93	84	76
	Resistance (BU)	550	620	395	510	470	410
	Extensibility (mm)	147	134	138	124	127	128
	Ratio Figure (BU/mm)	3.74	4.63	2.86	4.11	3.70	3.20
90 min							
	Area (cm^2)	171	135	100	108	102	87
	Resistance (BU)	>1000	>1000	790	770	800	630
	Extensibility (mm)	120	97	98	106	111	107
	Ratio Figure (BU/mm)	>8.33	>10.31	8.06	7.26	7.21	5.89
135 min							
	Area (cm^2)	144	138	113	95	94	96
	Resistance (BU)	>1000	>1000	880	740	750	925
	Extensibility (mm)	105	99	102	95	102	94
	Ratio Figure (BU/mm)	>9.52	>10.10	8.63	7.79	7.35	9.84

4.3.3 จากการศึกษาผลของแป้งมันดิบและแป้งมันคืนตัวต่อคุณภาพขนมปังโดยการทำขนมปังจากแป้งผสมทั้ง 5 สูตร ได้แก่

BC00: สูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง)

BT05: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR01: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR14: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

BR35: ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 35 วัน 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

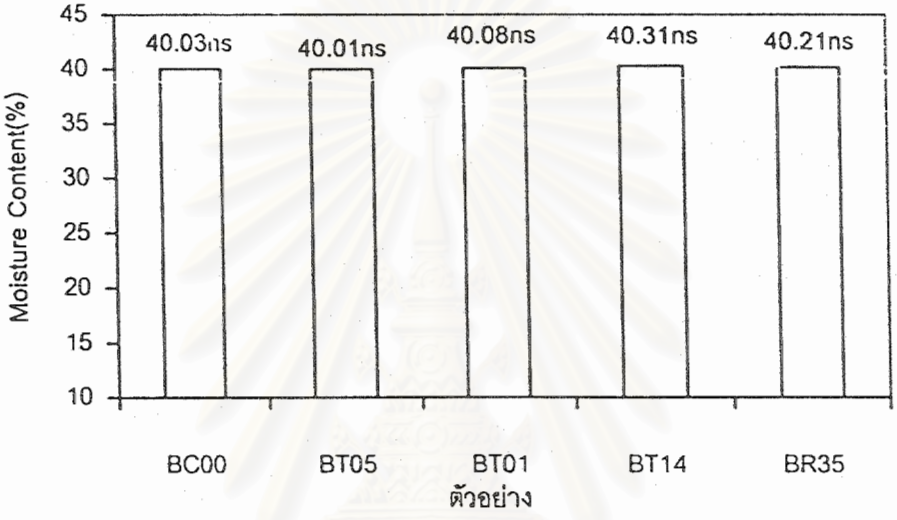
4.3.3.1 ตารางที่ 4.8 แสดงเวลาของการนวดโดสำหรับการทำขนมปังสูตรต่างๆ จนได้ที่ พบว่าเวลาที่ใช้นวดโดสูตรควบคุมและสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบเป็น 12 นาที 47 วินาที และ 12 นาที 6 วินาทีตามลำดับ มากกว่าเวลาที่ใช้นวดโดสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 14 และ 35 วัน ซึ่งเท่ากับ 5 นาที 15 วินาที, 5 นาที 42 วินาที และ 5 นาที 21 วินาทีตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์การเกิดโดด้วยเครื่อง Farinograph คือ เมื่อมีการทดแทนแป้งมันสำปะหลังคืนตัวลงไปในสูตรทำให้เวลาที่ใช้ในการฟอร์มตัวของโดมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4.8 เวลาที่ใช้นวดโดของขนมปังสูตรต่างๆ

	สูตรแป้งผสม				
	BC00	BT05	BR01	BR14	BR35
เวลาที่ใช้นวดโด (นาที:วินาที)	12:47^{a} ± 3:15	12:06^{a} ± 2:50	5:15^{b} ± 1:45	5:42^{b} ± 1:06	5:21^{b} ± 1:10

*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

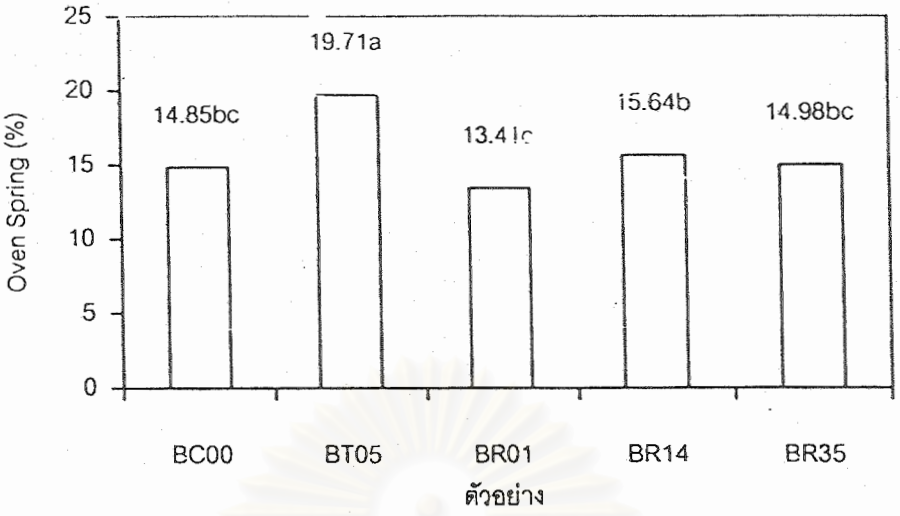
4.3.3.2 จากรูปที่ 4.7 ผลการทดลองพบว่าขนมปังที่เพิ่งอบเสร็จและยังไม่ผ่านการเก็บรักษามีปริมาณความชื้นระหว่างตัวอย่างควบคุมซึ่งเท่ากับ 40.03±0.09% และตัวอย่างที่ทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 14 และ 35 วันซึ่งเท่ากับ 40.01±0.10, 40.08±0.13, 40.31±0.38 40.21±0.02% ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)



ns: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

รูปที่ 4.7 ปริมาณความชื้นในขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว

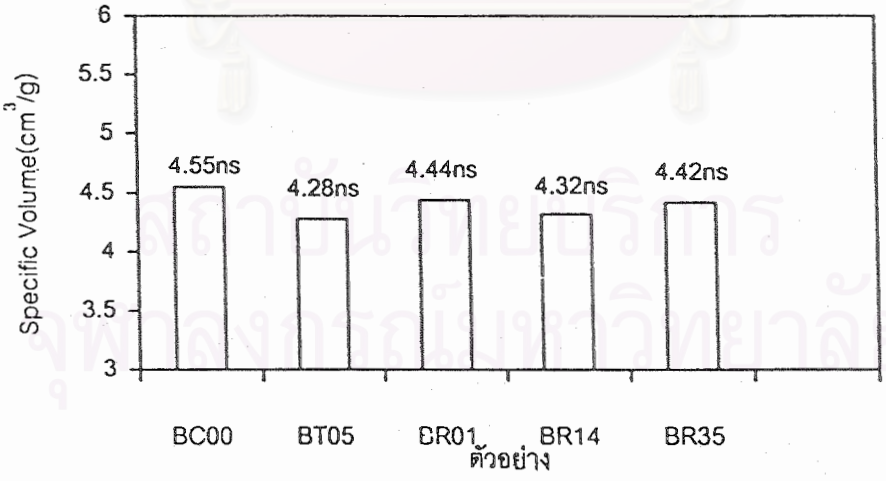
4.3.3.3 จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่า oven apring ของขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบมีค่าเป็น 19.71±1.48% มากกว่าค่า oven spring ของขนมปังสูตรควบคุมซึ่งเท่ากับ 14.85±1.11% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) ในขณะที่ขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 14 และ 35 วัน มีค่าเป็น 13.41±0.20, 15.64±1.16 และ 14.98±0.52% ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)



*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.8 Oven spring ในขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังคืนตัว

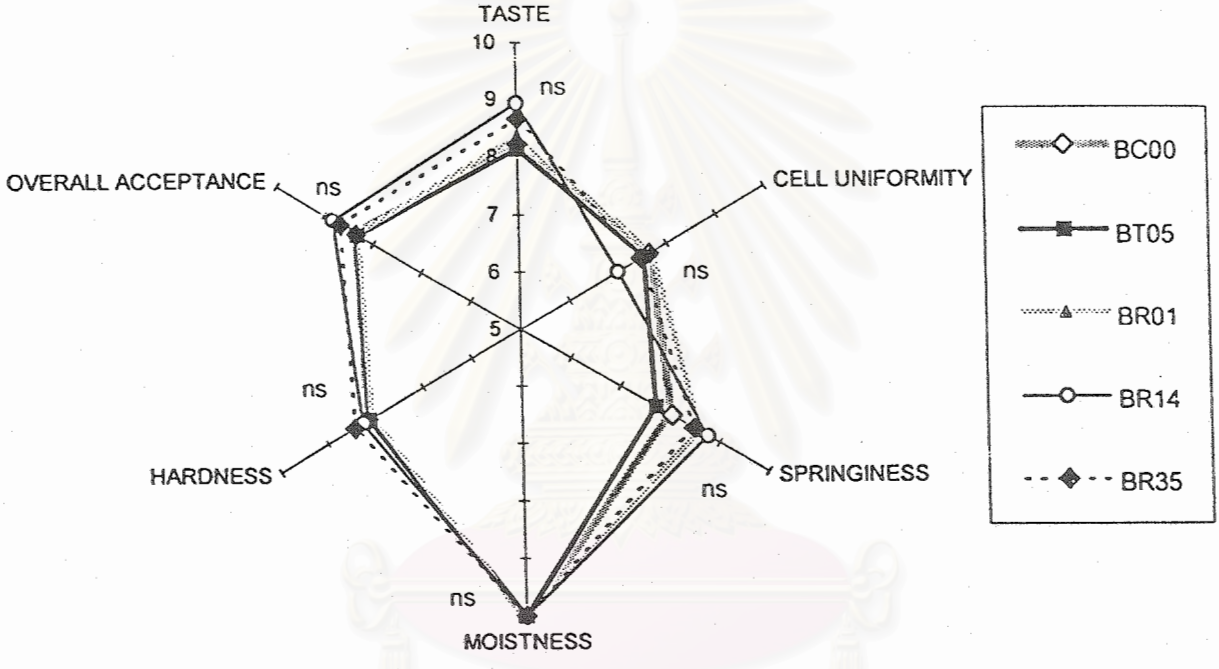
4.3.3.4 จากรูปที่ 4.9 ปริมาตรจำเพาะในขนมปังสูตรควบคุมและสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 14 และ 35 วัน เท่ากับ 4.55 ± 0.29, 4.28 ± 0.26, 4.44 ± 0.09, 4.32 ± 0.21 4.42 ± 0.39 cm^3/g ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ns: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

รูปที่ 4.9 ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว

4.3.3.5 คะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ (taste) ความสม่ำเสมอของเซลล์ (cell uniformity) การเด้งคืนตัว (springiness) ความชุ่มชื้น (moistness) ความแข็ง (hardness) และการยอมรับโดยรวม (overall acceptance) ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 14 และ 35 วัน ไม่มีความแตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงผลดังรูปที่ 4.10



ns: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

รูปที่ 4.10 คะแนนทางลักษณะสัมผัส ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว

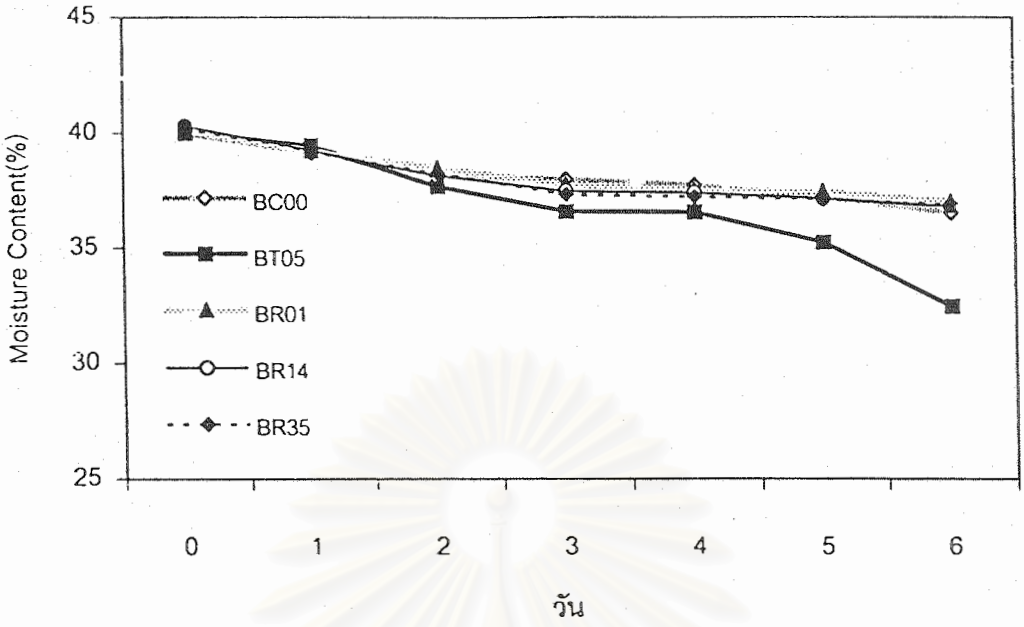
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเติมแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวสูตรต่างๆไม่มีผลต่อคุณภาพของขนมปังหลังจากอบเสร็จใหม่ๆในด้านปริมาณความชื้น ปริมาตรจำเพาะและคะแนนทางประสาทสัมผัส

4.3.4 ผลการศึกษาผลของแป้งมันดิบและแป้งมันคืนตัวต่อคุณภาพด้านความสดของขนมปัง หลังจากบรรจุขนมปังในถุงพลาสติก PE ปิดผนึก เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (26-28°C) ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง 72-75% เป็นเวลา 6 วัน แล้วสุ่มตัวอย่างขนมปังทุกวันเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้านปริมาณความชื้น ความแข็ง และติดตามการคืนตัวของแป้งด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รวมทั้งประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านการเด้งคืนตัว ความชุ่มชื้น ความแข็ง (Hardness) และการยอมรับโดยรวม ได้ผลดังต่อไปนี้

4.3.4.1 รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในเนื้อขนมปัง โดยเมื่อพิจารณาในแนวนอนของตาราง พบว่าปริมาณความชื้นของขนมปังทุกสูตรลดลงทุกวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 0-2 ของการเก็บและมีแนวโน้มลดลงทุกวันตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาแนว ตั้งของตาราง พบว่าช่วงวันที่ 0-2 ของการเก็บ ปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรไม่แตกต่างจากความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และตั้งแต่วันที่ 3 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บปริมาณความชื้นของขนมปังสูตร BT05 หรือสูตรที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบมีค่าน้อยกว่าความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมในวันเดียวกัน แต่ตลอดระยะการเก็บพบว่าขนมปังสูตร BR01, BR14 และ BR35 มีความชื้นไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมในวันเดียวกันของการเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ปริมาณความชื้นในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

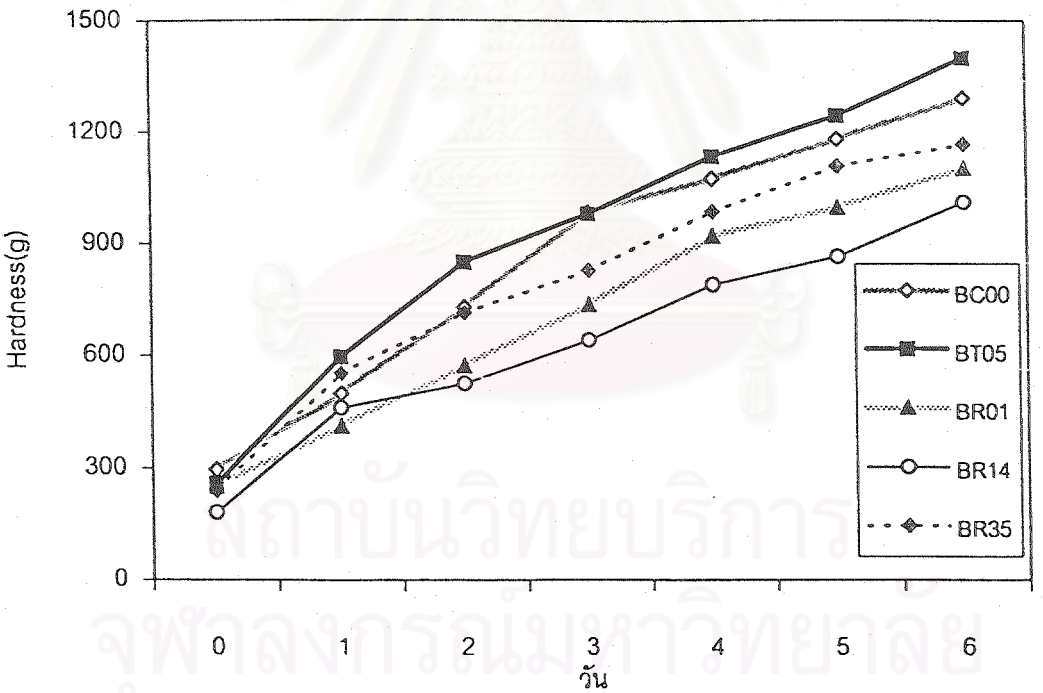
ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้นในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

	ปริมาณความชื้น (%)			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
BC00	40.03± 0.09^{a}	39.10± 0.36^{b}	38.11± 0.23^{cdef}	37.99± 0.31^{cdefg}
BT05	40.01± 0.10^{a}	39.44± 0.26^{b}	37.64± 0.34^{defghi}	36.58± 0.45^{lm}
BR01	40.08± 0.13^{a}	39.23± 0.58^{b}	38.48± 0.48^{c}	37.76± 0.17^{defgh}
BR14	40.31± 0.34$_{a}$	39.22± 0.34$_{b}$	38.13± 0.25$_{cd}$	37.47± 0.09$_{ghijk}$
BR35	40.21± 0.51	39.19± 0.51	38.24± 0.47	37.31± 0.30

	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
BC00	37.72± 0.05^{defgh}	37.19± 0.97^{hijkl}	36.52± 0.15^{m}
BT05	36.55± 0.09^{m}	35.24± 0.21^{n}	32.44± 0.60^{o}
BR01	37.51± 0.41^{efghij}	37.47± 0.28^{gfhij}	37.03± 0.45^{ijklm}
BR14	37.40± 0.22$_{ghijk}$	37.13± 0.23$_{hijklm}$	36.81± 0.12$_{klm}$
BR35	37.23± 0.28$_{hijkl}$	37.11± 0.20$_{hijklm}$	36.90± 0.15$_{jklm}$

*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.4.2 จากรูปที่ 4.12 และ ตาราง 4.10 พบว่าค่า hardness ของขนมปัง เมื่อพิจารณาตามแนวนอนของตาราง พบว่าขนมปังมีค่า hardness เพิ่มขึ้นตามระยะการเก็บที่นานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หากพิจารณาในแนวตั้งของตาราง พบว่าในวันที่ 0 และวันที่ 2-6 ของการเก็บ ขนมปังสูตร BR14 มีค่า hardness น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมและสูตรอื่นๆ ในวันเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และตั้งแต่วันที่ 3 ไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บพบว่าขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรมีค่า hardness น้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ (BT05) มีค่า hardness ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากสูตรควบคุมในวันที่ 0 ของการเก็บ แต่ตั้งแต่วันที่ 2 ไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บพบว่าขนมปังสูตร BT05 มีค่า hardness สูงกว่าสูตรควบคุมเมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.12 ค่า Hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

ตารางที่ 4.10 ค่า Hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

	Hardness (g)			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
BC00	297.92±15.52 b	500.71±29.02 de	731.28 ±2.12 i	988.38±25.49 m
BT05	259.14 ±1.26 b	598.25±12.69 gh	852.14±16.81 k	982.58±1.23 m
BR01	252.71 ±4.36 a	413.52±31.62 c cd	574.00 ±6.13 fg ef	738.28±8.76 i h
BR14	182.96 ±1.85 b	461.22 ±8.72 efg	526.81±10.08 i	642.24±6.64 jk
BR35	240.53 ±3.55	553.81±16.72	716.42±35.14	829.08±1.75

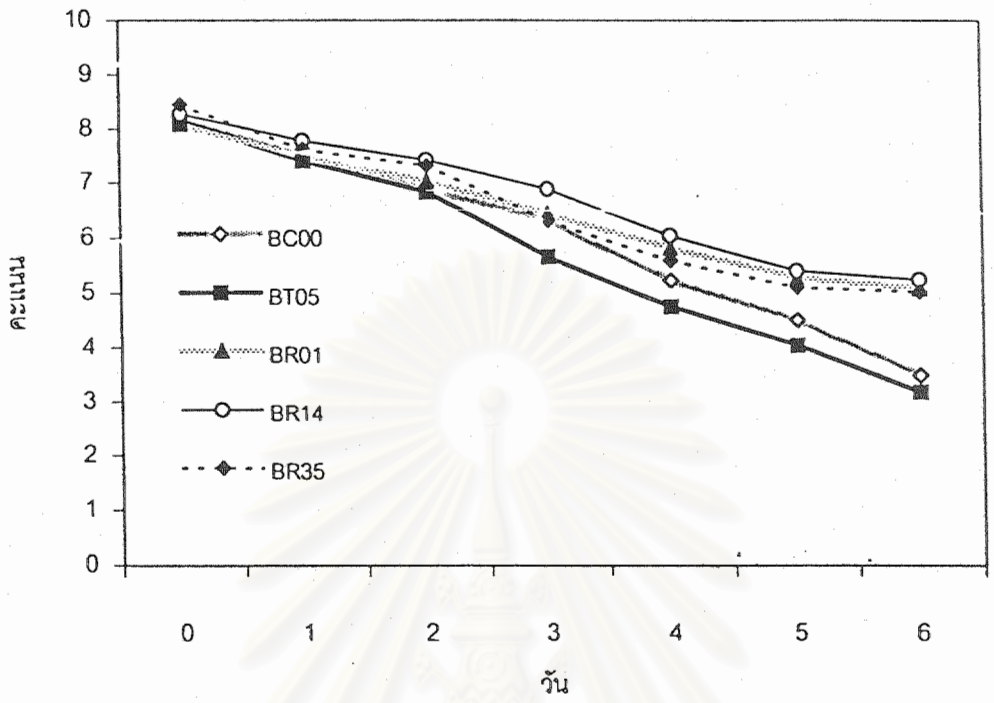
	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
BC00	1076.90±70.98 n	1181.86 ±5.12 p	1292.13 ±89.68 q
BT05	1135.44±43.19 op	1245.33±15.90 q	1399.93±101.45 r
BR01	922.38 ±1.48 l j	999.79 ±12.65 m k	1104.51 ±38.29 no m
BR14	792.33 ±26.43 m	868.02 ±11.00 no	1012.87 ±2.42 p
BR35	988.59 ±15.54	1110.09±15.54	1168.08 ±32.19

*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หลังจากเก็บขนมปังไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ค่าความชื้นและ hardness ของขนมปังที่ผ่านการเก็บเป็นเวลา 6 วัน แสดงให้เห็นว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบไม่มีส่วนช่วยในการรักษาความชื้นและคงความนุ่มของขนมปังไว้

4.3.4.3 ผลคะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นระยะเวลา 0-6 วัน แสดงผลดังรูปที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.11 พบว่าคะแนนด้าน hardness ของขนมปังสูตร BR14 มีแนวโน้มสูงกว่าขนมปังสูตรอื่นๆในวันเดียวกัน ในช่วงการเก็บ วันที่ 1-6 และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่าสูตร BR14 เริ่มมีคะแนนมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 2 ไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บ และยังพบว่าขนมปังสูตร BR01 และ BR35 มีคะแนนสูงกว่าสูตรควบคุมในวันเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 4-6 ของการเก็บ นอกจากนั้นขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรได้รับคะแนนทางลักษณะสัมผัสด้าน hardness อยู่ในช่วงยอมรับได้จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บ ในขณะที่ขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ (BT05) มีคะแนนด้าน hardness ต่ำกว่าสูตรควบคุมในวันเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) ในวันที่ 3 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บ และตั้งแต่วันที่ 4 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บพบว่าขนมปังสูตร BT05 มีคะแนนทางลักษณะสัมผัสด้าน hardness ไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



รูปที่ 4.13 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

ตารางที่ 4.11 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Hardness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

	คะแนน			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
BC00	8.18 ±0.51 ^{a}	7.50 ±0.18 ^{cd}	6.88 ±0.54 ^{f}	6.34 ±0.28 ^{gh}
BT05	8.15 ±0.19 ^{a}	7.41 ±0.19 ^{d}	6.84 ±0.67 ^{f}	5.67 ±0.23 ^{jk}
BR01	8.09 ±0.45 ^{ab}	7.48 ±0.45 ^{cd}	7.04 ±0.59 ^{ef}	6.45 ±0.45 ^{g}
BR14	8.28 ±0.91 ^{a}	7.79 ±0.91 ^{cd}	7.43 ±0.39 ^{de}	6.89 ±0.76 ^{gh}
BR35	8.45 ±0.77	7.63 ±0.77	7.33 ±0.26	6.33 ±0.39

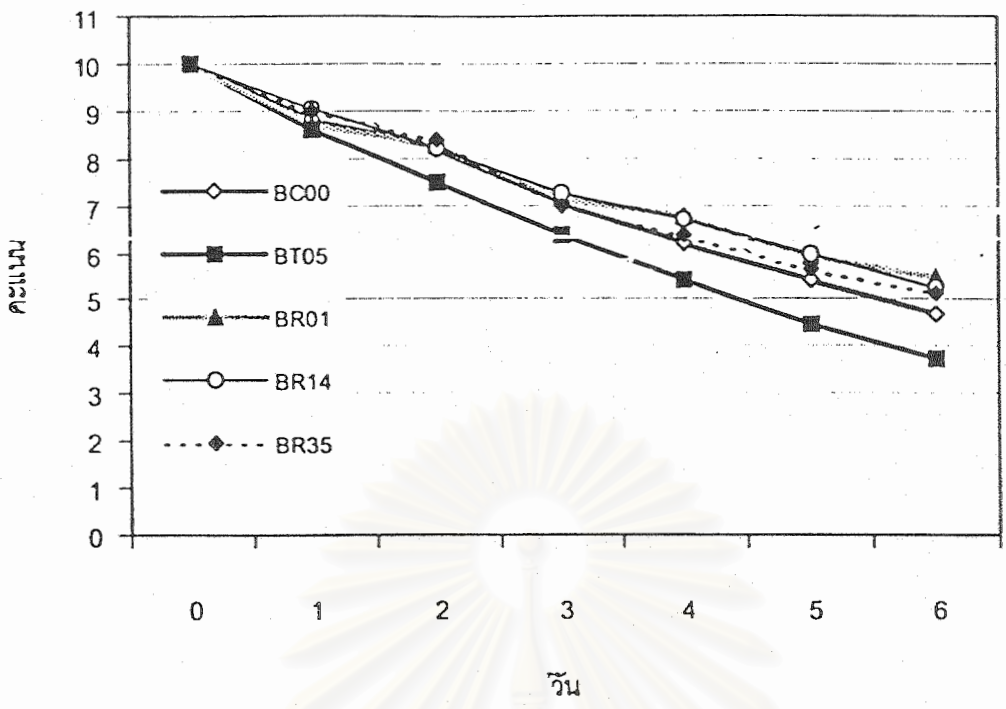
	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
BC00	5.15 ±0.30 ^{m}	4.50 ±0.42 ^{o}	3.49 ±0.29 ^{q}
BT05	4.76 ±0.38 ^{no}	4.04 ±0.36 ^{p}	3.19 ±0.36 ^{r}
BR01	5.84 ±0.06 ^{ij} ^{hi}	5.29 ±0.33 ^{lm} ^{klm}	5.09 ±0.40 ^{mn} ^{lm}
BR14	6.06 ±0.23 ^{jkl}	5.41 ±0.32 ^{mn}	5.25 ±0.32 ^{mn}
BR35	5.61 ±0.51	5.11 ±0.60	5.03 ±0.34

*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน hardness ของขนมปังสอดคล้องกับผลการวัดค่า hardness ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส กล่าวคือ ประการแรกขนมปังสูตร BT05 มีค่า hardness เริ่มต้นต่ำกว่าแต่ไม่ต่างกับสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญและมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าสูตรควบคุมระหว่างการเก็บ นอกจากนี้การทดสอบทางประสาทสัมผัสให้ผลเช่นเดียวกัน คือมีคะแนนด้าน hardness เริ่มต้นไม่ต่างจากสูตรควบคุมและมีคะแนนลดลงน้อยกว่าสูตรควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา สาเหตุเกิดจากการที่แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่าและปริมาณอะมิโลเพกตินสูงกว่าแป้งสาลี โดยอะมิโลสจะไปเจือจางอะมิโลเพกตินซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิด staling ในขนมปัง ดังนั้นการเติมแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพกตินสูงจึงทำให้ขนมปังเกิด staling ได้เร็วกว่าแม้ว่าจะเริ่มจากขนมปังที่นุ่มกว่าหลังอบเสร็จใหม่ๆ ก็ตาม (Knightly, 1996)

ประการที่สอง แม้ว่าคะแนนทางประสาทสัมผัสด้าน hardness ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังทั้ง 3 สูตรจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 4-6 ของการเก็บ แต่จากการวัดค่า hardness ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังทั้ง 3 สูตร มีค่า hardness ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าผลจากการทดสอบทางลักษณะสัมผัสและการวัดด้วยเครื่องมือสอดคล้องกัน กล่าวคือ ขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14 วัน (BR14) มีแนวโน้มว่ามีความแข็งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1 และ 35 วัน (BR01 และ BR35)

จากรูปที่ 4.14 และ ตาราง 4.12 พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชุ่มชื้นในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน ให้ผลสอดคล้องกับการวัดค่าความชื้นด้วยเครื่องมือ คือ เมื่อพิจารณาแนวนอนของตาราง พบว่าคะแนนด้านความชุ่มชื้นของ ขนมปังทุกสูตรลดลงทุกวันตามระยะการเก็บที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาแนวตั้งของตาราง พบว่าตั้งแต่วันที่ 0 และ 1 ของการเก็บ ผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างของความชุ่มชื้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และตั้งแต่วันที่ 2 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บ พบว่าคะแนนด้านความชุ่มชื้น ของขนมปังสูตร BT05 น้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกัน และในส่วนของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรมีคะแนนด้านความชุ่มชื้นมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 5 และ 6 ของการเก็บ



รูปที่ 4.14 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Moistness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

ตารางที่ 4.12 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Moistness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

	คะแนน			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
BC00	10.00 ±0.00 a	8.81 ±0.59 bc	8.19 ±0.57 d	7.01 ±0.88 ef
BT05	10.00 ±0.00 a	8.58 ±0.49 bcd	7.47 ±0.91 e	6.36 ±0.79 ghi
BR01	10.00 ±0.00 a	8.68 ±0.67 bcd	8.27 ±0.74 d	7.18 ±0.72 ef
BR14	10.00 ±0.00 a	9.05 ±0.64 b	8.23 ±0.86 d	7.27 ±0.86 e
BR35	10.00 ±0.00	8.98 ±0.64	8.40 ±0.67 cd	6.97 ±0.85 ef

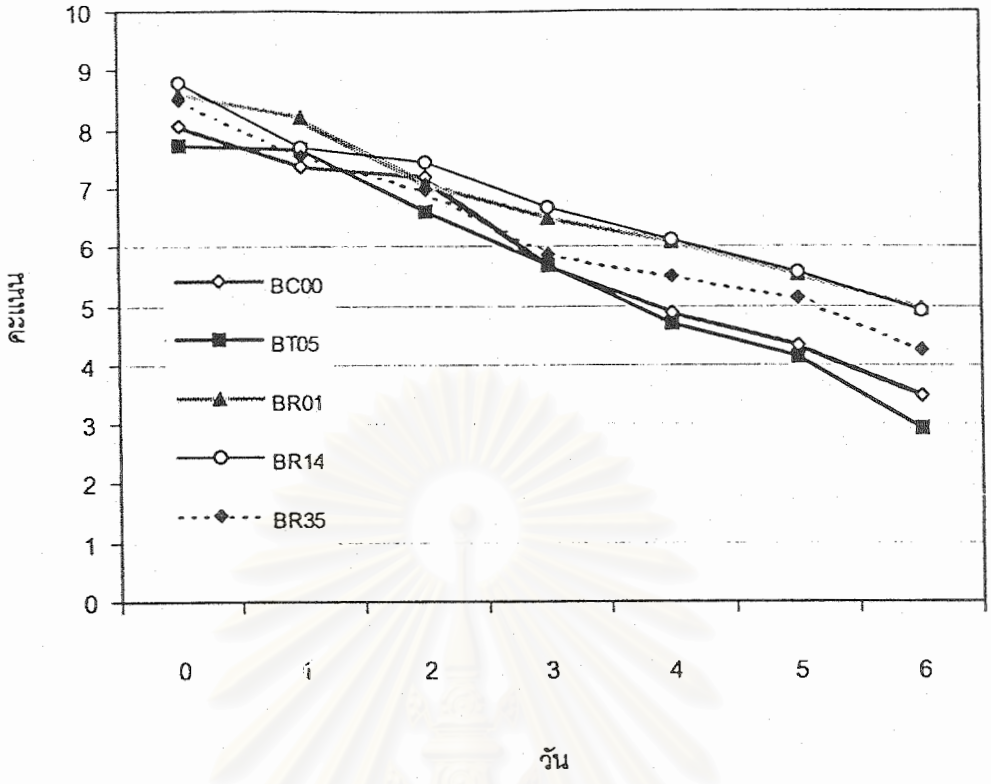
	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
BC00	6.19 ±0.72 hi	5.43 ±0.85 k	4.67 ±0.17 l
BT05	5.43 ±0.65 k	4.49 ±0.63 l	3.77 ±0.53 m
BR01	6.74 ±0.65 fg	5.94 ±0.54 ij	5.48 ±0.48 jk
BR14	6.68 ±0.83 fgh	5.98 ±0.52 ij	5.25 ±0.62 k
BR35	6.36 ±0.85 ghi	5.67 ±0.48 j	5.15 ±0.60 k

*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชุ่มชื้นของขนมปังและค่าปริมาณความชื้นของขนมปัง (ตาราง 4.9) สังเกตได้ว่าปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตร ไม่มีความแตกต่างกับสูตรควบคุมในขณะที่ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านความชุ่มชื้นของขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 5-6 ของการเก็บ และเมื่อพิจารณาประกอบกับค่า hardness ของขนมปัง (ตาราง 4.10) พบว่าค่า hardness ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผู้ทดสอบรู้สึกว่าขนมปังสูญเสียความชื้นไป แม้ขนมปังจะไม่มีความแตกต่างด้านปริมาณความชื้นก็ตาม ดังนั้นการที่ผู้ทดสอบรู้สึกได้ว่าขนมปังเกิด staling ขึ้นไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นของขนมปัง (Pomeranz and Shallenberger, 1971; Hoseney, 1994)

จากรูปที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.13 พบว่าคะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านการเด้งคืนตัว (springiness) ของเนื้อขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน ในขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรมีค่ามากกว่าสูตรควบคุมในวันเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่การเก็บวันที่ 4 ถึงวันสุดท้าย ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าคะแนนของผู้ทดสอบในด้าน springiness ของขนมปังแปรผันตรงกับคะแนนด้าน hardness ของขนมปัง เนื่องจากผลในรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าตั้งแต่วันที่ 4 ไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บ ขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรได้รับคะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน hardness สูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Springiness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

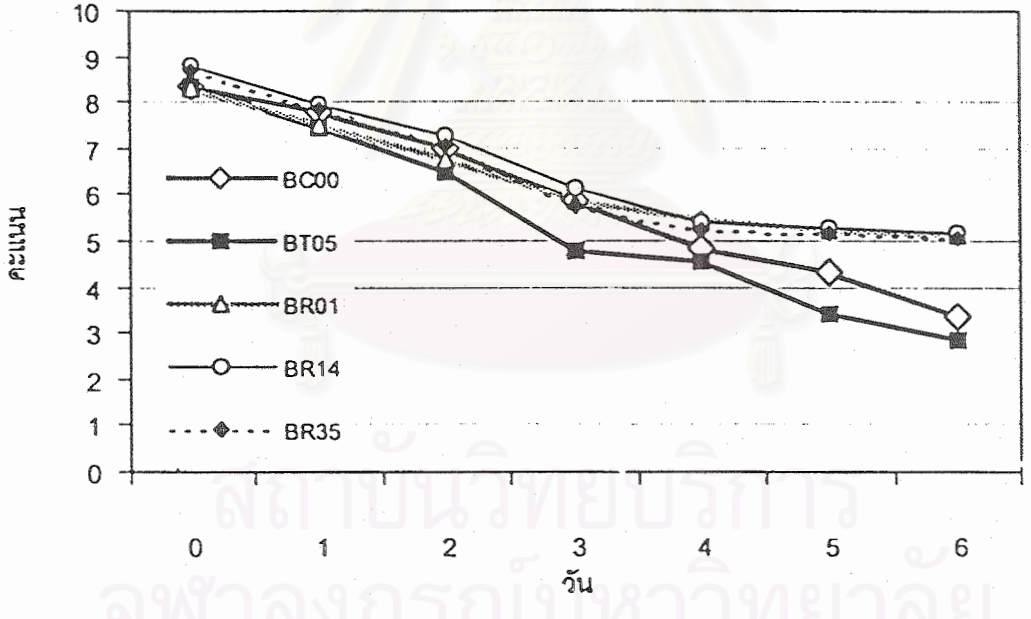
ตารางที่ 4.13 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้าน Springiness ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

	คะแนน			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
BC00	8.04 ±0.79 cde	7.37 ±0.68 fghi	7.17 ±0.82 ghij	5.69 ±0.70 op
BT05	7.73 ±0.71 def	7.65 ±0.42 efg	6.61 ±0.69 klm	5.69 ±0.38 op
BR01	8.63 ±0.58 ab	8.21 ±0.92 bcd	7.07 ±0.41 hijk	6.48 ±0.80 lmn
BR14	8.78 ±0.39 a	7.69 ±0.39 efg	7.43 ±0.83 fghi	6.66 ±0.74 jkl
BR35	8.49 ±0.50 abc	7.54 ±0.50 efgh	6.97 ±0.83 ijkl	5.87 ±0.71 op

	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
BC00	4.88 ±0.73 r	4.33 ±0.59 st	3.48 ±0.43 u
BT05	4.69 ±0.42 rs	5.52 ±0.60 t	2.93 ±0.17 v
BR01	6.09 ±0.53 no	5.55 ±0.60 pq	4.94 ±0.59 r
BR14	6.13 ±0.37 mno	5.14 ±0.45 pq	4.92 ±0.25 r
BR35	5.50 ±0.54 pq	4.14 ±0.44 qr	4.26 ±0.55 st

*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมของขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน (รูป 4.16 และ ตาราง 4.14) ของขนมปังสูตร BT05 ให้ผลสอดคล้องกับคะแนนด้านความชุ่มชื้นของขนมปัง กล่าวคือ ตั้งแต่วันที่ 2 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บ คะแนนด้านการยอมรับโดยรวมของขนมปังสูตร BT05 หรือสูตรที่ทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมในวันเดียวกัน และพบว่าคะแนนด้านการยอมรับโดยรวมของขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรสอดคล้องกับคะแนนด้าน hardness และ springiness คือตั้งแต่วันที่ 4 ไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บ ขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรได้รับคะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.16 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

ตารางที่ 4.14 คะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม ในขนมปังที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน

	คะแนน			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
BC00	8.34 ±0.86 ab	7.78 ±0.29 cde	7.01 ±0.49 fg	5.87 ±0.81 jk
BT05	8.33 ±0.40 ab	7.44 ±0.39 def	6.48 ±0.35 hi	4.79 ±0.23 nop
BR01	8.32 ±0.60 ab	7.49 ±0.45 cdef	6.77 ±0.78 gh	5.86 ±0.81 jk
BR14	8.83 ±0.68 a	7.98 ±0.45 bc	7.28 ±0.65 efg	6.15 ±0.74 ij
BR35	8.68 ±0.46 a	7.83 ±0.84 bcd	7.03 ±0.56 fg	5.73 ±0.67 jkl

	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
BC00	4.84 ±0.55 no	4.29 ±0.41 p	3.36 ±0.56 q
BT05	4.56 ±0.49 op	3.39 ±0.47 q	2.82 ±0.42 r
BR01	5.48 ±0.78 klm	5.21 ±0.74 lmn	5.10 ±0.70 mn
BR14	5.42 ±0.79 klm	5.31 ±0.79 lmn	5.16 ±0.60 mn
BR35	5.21 ±0.78 lmn	5.15 ±0.54 mn	5.04 ±0.64 mno

*a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าลักษณะสัมผัสในด้านต่างๆมีความสัมพันธ์กัน ที่จะบ่งบอกได้ถึงการเกิดความไม่สดในขนมปังโดยที่ผู้บริโภคสามารถรู้สึกได้ นอกจากนั้นยังพบว่าคะแนนการทดสอบทางลักษณะสัมผัสด้านความแข็ง ความชุ่มชื้น การเด้งคืนตัว และการยอมรับโดยรวมของขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5 % ด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตลอดระยะการเก็บ

จากผลการทดลองในด้านปริมาณความชื้น hardness และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบในปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมดไม่มีผลช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปังเมื่อเก็บรักษาขนมปังเป็นเวลา 6 วัน แต่การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวในปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมดช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปังลงได้ โดยจะสังเกตเห็นผลการชะลอการเกิด staling ชัดเจนตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บ ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่แป้งคืนตัวทำให้สายอะมิโลเพกตินมีความยาวเพิ่มขึ้น และส่งผลให้อะมิโลเพกตินเข้ามาจับตัวกันเป็นผลึกใหม่ได้น้อยลง ขนมปังจึงเกิด staling ได้ช้าลง (Hibi,2001)

4.3.4.4 ผลการวิเคราะห์เอนธาลปีของการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรดด้วยเครื่อง DSC (Munzing and Brack, 1991) แสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่าหลังจากขนมปังอบเสร็จใหม่ๆ ขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบมีค่าเอนธาลปีน้อยที่สุด คือ 0.28 J/g ขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าเอนธาลปี เท่ากับ 0.40 J/g และขนมปังสูตรควบคุมมีค่าเอนธาลปีมากที่สุด คือ 0.81 J/g จากนั้นในวันที่ 6 ของการเก็บพบว่า ขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบมีค่าเอนธาลปีมากที่สุด คือ 4.27 J/g ขนมปังสูตรควบคุมมีค่าเอนธาลปีเท่ากับ 3.51 J/g และขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าเอนธาลปีน้อยที่สุด คือ 3.26 J/g

ตารางที่ 4.15 เอนธาลปีของการละลายส่วนผลึกของแป้งขนมปังที่เกิดการรีโทรเกรด จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

ชนิดของขนมปัง	ΔH (J/g flour)	
	ระยะเวลาที่เก็บ (วัน)	
	0	6
สูตรควบคุม	0.81	3.51
+ แป้งมันสำปะหลังดิบ	0.28	4.27
+ แป้งมันสำปะหลังคืนตัว	0.40	3.26

ค่าเอนธาลปีของการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรดด้วยเครื่อง DSC นี้สอดคล้องกับผลการทดลองในขั้นที่ผ่านมา ทั้งการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือและการทดสอบทางประสาทสัมผัส คือ ขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบเกิด staling ขึ้นรวดเร็วและมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ จึงมีค่าเอนธาลปีของการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรดเมื่อขนมปังผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 6 วันสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆที่ผ่านการเก็บเป็นระยะเวลาเท่ากัน และขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีผลในการชะลอการเกิด staling ลงได้ ดังจะเห็นว่าค่าเอนธาลปีของการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรดของขนมปังสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าต่ำที่สุดเมื่อขนมปังผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 6 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาสมบัติของแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง สรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 แป้งสาลีที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้มีปริมาณอะมิโลส 27.98±0.57% มากกว่าปริมาณอะมิโลสในแป้งมันสำปะหลังซึ่งเท่ากับ 18.35±0.32%

5.1.2 แป้งสาลีมีค่าความหนืดสูงสุดหรือค่า peak viscosity และค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดหรือค่า breakdown จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ศึกษาด้วยเครื่อง RVA ต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง แต่มีค่าความหนืดสุดท้ายหรือค่า final viscosity เวลาที่ใช้ในการเกิดความหนืดสูงสุดหรือค่า peak time และการคืนตัวหรือค่า setback สูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง

5.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังในขนมปัง สรุปผลได้ดังนี้

5.2.1 จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของโดด้วยเครื่อง Farinograph ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง (water absorption) มีแนวโน้มลดลงเป็น 69.3, 67.3, 65.8 และ 65.0% และเวลาที่ใช้ในการเกิดโด (development time) มีแนวโน้มลดลงเป็น 16.5, 15.0, 13.5 และ 12.0% เมื่อปริมาณการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบเพิ่มขึ้นเป็น 0, 5, 10 และ 15% ตามลำดับ และจากการศึกษาความแข็งแรงของโดด้วยเครื่อง Extensograph พบว่าโดของแป้งสูตรควบคุมมีการยืดตัวและสามารถรีดแผ่ออกได้ดีกว่าสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ

5.2.2 ปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการนำมาทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังคือ 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด เนื่องจากขนมปังสูตรนี้ไม่ทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะลดลงจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่า oven spring มากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) อีกทั้งมีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมไม่ต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีคะแนนมากกว่าสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง 10 และ 15%ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

5.3 การศึกษาผลของการทดแทนแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อคุณภาพในด้านความสดของขนมปัง สรุปผลได้ดังนี้

5.3.1 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี แป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งมันสำปะหลังคืนตัวโดยเครื่อง RVA แป้งสาลีมีความหนืดสูงสุดต่ำที่สุดและมีค่าการคืนตัวสูง ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังดิบมีค่าการคืนตัวต่ำและมีความหนืดสูงสุดสูงกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งสาลี แต่ต่ำกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังคืนตัว ส่วนแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 35 วันมีค่าความหนืดสูงสุดสูงที่สุด รองลงมาคือแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 14, 7 และ 1 วันตามลำดับ อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืดของแป้งดิบทั้งสองชนิด

5.3.2 จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของโดด้วยเครื่อง Farinograph ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของโดของสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบปริมาณ 5% ของน้ำหนักลดลงเป็น 67.3% จาก 69.3% ในสูตรควบคุม แต่สูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัวมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจาก 69.3% ในสูตรควบคุมเป็น 72.3, 73.3, 73.7 และ 74.2% ในสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7, 14 และ 35 วันตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการฟอร์มตัวของโดมีแนวโน้มลดลงจาก 16.5 นาทีในสูตรควบคุม เป็น 2.3, 2.3, 2.2 และ 2.5 นาทีในสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7, 14 และ 35 วันตามลำดับ และจากการศึกษาความแข็งแรงของโดด้วยเครื่อง Extensograph พบว่าโดของแป้งสูตรควบคุมมีการยืดหยุ่นดีกว่าสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัว แต่การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 7 14 และ 35 วันทำให้โดมีความสามารถในการรีดแผ่ออกได้ดี

5.3.3 ขนมปังที่เพิ่งอบเสร็จและยังไม่ผ่านการเก็บรักษา มีปริมาณความชื้น ปริมาตรจำเพาะ และคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ ความสม่ำเสมอของเซลล์ การเด้งคืนตัว ความชุ่มชื้น ความแข็งและการยอมรับโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ค่า oven spring ของขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบมากกว่าค่า oven spring ของสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่ขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลี 5% ด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว 1, 14 และ 35 วันมีค่า oven spring ไม่แตกต่างกับขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

5.3.4 การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ (native tapioca starch) ในปริมาณ 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมดไม่มีผลช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปังเมื่อเก็บรักษาขนมปังเป็นเวลา 6 วัน แต่การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคืนตัว (retrograded tapioca starch) ที่ทำให้คืนตัวเป็นเวลา 1, 14 และ 35 วันในปริมาณ 5%ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด ช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปังลงได้ โดยจะสังเกตเห็นผลการชะลอการเกิด staling ชัดเจนตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บ

ข้อเสนอแนะ

1) การนำแป้งมันสำปะหลังคืนตัวไปใช้งานจริงในอุตสาหกรรม อาจไม่จำเป็นต้องใช้ในรูปของแป้งแห้ง แต่เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังคืนตัวแห้งและบดเป็นผงสามารถกระจายตัวได้ทั่วถึงกว่าเมื่อเทียบกับในรูปของแป้งเปียก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แป้งมันสำปะหลังคืนตัวแห้งที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธี freeze drying เป็นวัตถุดิบในการทดลอง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อไปในด้านของรูปแบบต่างๆของแป้งมันสำปะหลังคืนตัวที่จะนำไปใช้ได้ดีและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า

2) ควรมีการศึกษาขั้นต่อไปถึงการนำแป้งมันสำปะหลังคืนตัวไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทอื่นๆ เพื่อประโยชน์ในการยืดระยะเวลาความสดของผลิตภัณฑ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรดี ชนะนิธิธรรม. 2529. การใช้แป้งมันสำปะหลังทดแทนบางส่วนของแป้งสาลีในคุ้กกี้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสาวลักษณ์ ควรถนอม. 2526. การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์พายร่วนและบะหมี่โดยแป้งที่มีในประเทศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: กราฟฟิคแอนด์ปรินติงเซ็นเตอร์.

ภาษาอังกฤษ

AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. 10th ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Alais, C., and Linden, G. 1991. Food Biochemistry. New York: Ellis Horwood.

Altschul, A.M. 1974. New Protein Foods. Vol.1. New York: Academic Press.

Avital, Y.; Mannheim, C.H., and Miltz, J. 1990. Effect of carbon dioxide atmosphere on staling and water relations in bread. Journal of Food Science. 55: 413-461.

Brennan, J.G. 1984. Texture perception and measurement. In Piggott, J.R., Sensory Analysis of Foods, pp. 73-87. New York: Elsevier Applied Science Publishers.

Cochran, W.G., and Cox, G.M. 1992. Experimental Design. New York: John Wiley & Son.

Corsetti, A.; Gobbetti, M.; Balestrieri, F.; Paoletti, F; Russi, L., and Rossi, J. 1998. Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling. Journal of Food Science. 63: 347-351.

Dendy, D.A.V., and Clarke, P.A. 1970. The Use of Non- Wheat Flour in Bread Making. London: Tropical Product Institute.

FAO. 1998. FAO/GIEWS-Food Outlook[Online]. Available from: http://www.fao.org/inpho/vlibrary/move_rep/x0295e/x0295e00.htm [2001, October 13].

Ghiasi, K.; Hoseney, R.C.; Zeleznak, K., and Rogers, D.E. 1984. Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. Cereal chem. 61: 281-285.

Hibi, Y. 2000. Pasting properties of various retrograded starches isolated with ethanol. Starch. 52: 106-111.

Hibi, Y. 2001. Effect of retrograded waxy corn starch on bread staling. Starch. 53: 227-234.

Hoseney, R.C. 1994. Principles of Cereal Science and Technology. 2nd ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Jane, J. 2001. Structure of Amylopectin and its effect on starch properties. Proceeding of the 1st National Conference on Starch Technology, pp. 3-10, Bangkok, Thailand, Nov.9, 2001. Bangkok: NSTDA.

Karaoglu, M.M.; Kotancilar, H.G., and Celik, I. 2001. Effects of utilization of modified starches on the cake quality. Starch. 53: 162 – 169.

Kent, N.L. 1983. Technology of Cereals. 3rd ed. Oxford: Pergamon Press.

Kim, J.; Kim, W., and Shin, M. 1997. A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and α- amylase methods. Starch. 49: 71-75.

Kim, Y.S.; Wiesenbom, D.P.; Orr, P.H., and Grant, L.A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. Journal of Food Science. 60: 1060 – 1065.

Knightly, W.H. 1996. Surfactants. In Hebeda, R.E., and Zobel, H.F., Baked Goods Freshness, pp. 65 – 103. New York: Marcel Dekker.

Larmond, Elizabeth. 1982. Laboratory Methods for Sensory Evaluation of Food. Ottawa: Canada Department of Agriculture.

Leon, A.; Duran. E., and Benedito de Barber, C. 1997. A new approach to study starch changes occurring in the dough-baking process and during bread storage. Z Lebensm Unters Forsch. 204: 316-320.

Matsunaga, A., and Kainuma, K. 1986. Studies on the retrogradation of starch in starchy foods. Part 3: Effect of the addition of sucrose fatty acid ester on the retrogradation of corn starch. Starch. 38:1-6.

Matz., S.A. 1960. Bakery – Technology and Engineering. Conneticut: The AVI Publishing.

Matz, S.A., and Matz, T.D. 1978. Cookie and Cracker Technology. 2nd ed. Conneticut:: The AVI Publishing.

Morgan, K.R.; Gerrard, J.; Every, D.; Ross, M., and Gilpin, M. 1997. Staling in starch breads: The effect of antistaling α - amylase. Starch. 49: 54-59.

Munzing, K., and Brack, G. 1991. DSC-studies of flour confectionery. Thermochimica Acta. 187: 167-173.

Ortega – Ojeda, F.E., and Eliasson, A.C. 2001. Gelatinization and retrogradation behaviour of some starch mixtures. Starch. 53: 520-529.

Pomeranz, Y. 1978. Advanced in Cereal Science and Technology. Vol.2. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Pomeranz, Y., and Shallenberger, J.A. 1971. Bread Science and Technology. Connecticut : The AVI Publishing.

Setser, C.S. 1996. Sensory methods. In Hebeda, R.E., and Zobel, H.F., Baked Goods Freshness, pp. 171-187. New York: Marcel Dekker.

Slade, L., Levine, H., Wang, M., and Ievolella, J. 1998. DSC Analysis of starch thermal properties related to functionality in low-moisture baked goods. In Tunick, M.H., Palumbo, S.A., and Fratamico, P.M., New Techniques in the Analysis of Foods, pp. 53-68. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers.

Smith, J.P., and Simpson, B.K. 1996. Modified atmosphere packaging. In Hebeda, R.E., and Zobel, H.F., Baked Goods Freshness, pp. 205-238. New York: Marcel Dekker.

Varavinit, S,; Anuntavuttikul, S., and Shobsgnob, S. 2000. Influence of freezing and thawing techniques on stability of sago and tapioca starch pastes. Starch . 52: 214 – 217.

Watson, K.S., and Boyle, P.J. 1996. The consumer's perception. In Hebeda, R.E., and Zobel, H.F., Baked Goods Freshness, pp. 257-266. New York: Marcel Dekker.

Zobel, H.F., and Kulp, K. 1996. The staling mechanism. In Hebeda, R.E., and Zobel, H.F., Baked Goods Freshness, pp. 1-64. New York: Marcel Dekker.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ก.1 การวิเคราะห์การเกิดเจลาติไนเซชันและสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธี AACC Method 61-02

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA รุ่น 4D พร้อมด้วย can อลูมิเนียมที่มีใบพัดปัด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้นาน 30 นาทีเพื่ออุ่นเครื่อง RVA ก่อนใช้งานจริง

2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และซอฟแวร์ควบคุม RVA โดยเลือกเงื่อนไขใน profile ป้อนลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้งชื่อไฟล์แล้วเซฟไว้ โดยเลือกเงื่อนไขดังนี้

Temperature profile

1. ให้ความร้อนที่ 50 °C เป็นเวลา 1.25 นาที
2. ให้ความร้อนที่ 50 ถึง 95 °C ด้วยอัตราเร็ว 12 °C/นาที (เป็นเวลา 3.75 นาที)
3. ให้ความร้อนที่ 95 °C เป็นเวลา 2.50 นาที
4. ให้ความร้อนที่ 50 ถึง 95 °C ด้วยอัตราเร็ว 12 °C/นาที (เป็นเวลา 3.75 นาที)
5. ให้ความร้อนที่ 95 °C เป็นเวลา 1.25 นาที

โดยความเร็วรอบในการกวนมอเตอร์เท่ากับ 160 รอบต่อนาที

3. ตวงน้ำปริมาตร 25.00 $\pm$ 0.1 ml (สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้น 14 %) ใส่ลงใน can ของ RVA

4. ชั่งตัวอย่าง 3.00 g ใส่ลงใน can ที่มีน้ำอยู่แล้ว ปริมาณตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง โดยทั่วไปประมาณได้ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

ตัวอย่าง	จำนวน (g)
เมล็ดพืชทั้งหมด (บดรวมเปลือก)	4.00
แป้ง (Flour)	3.50
สตาร์ช (Native starch)	
จากธัญชาติชนิดไม่มียาง (Non-waxy cereal)	3.00
จากธัญชาติชนิดมียาง(Waxy cereal)	3.00
มันฝรั่ง	2.00[1]
มันสำปะหลัง	2.50
สตาร์ชดัดแปลง (Modified starch)	
Acid modified	2.00 – 4.00[2]
Oxidized	2.00 – 4.00[2]
Substituted	2.50
Cross-linked	2.50

[1] ใช้ 1.2 g ถ้าเป็นสตาร์ชที่ไม่ได้ผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในเชิงพานิชย์

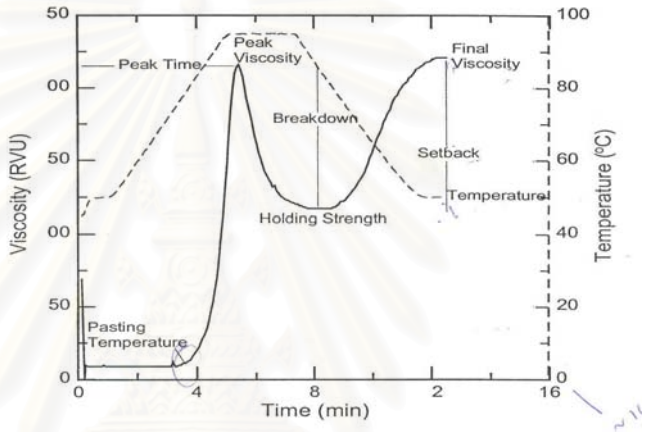
[2] จำนวนที่ใช้ขึ้นอยู่กับ degree of modification

5. ใส่ใบพัดกวน (paddle) ลงใน can หมุนใบพัดกวนไปมาแรงๆ และดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดที่ใบพัดกวนให้ทำซ้ำอีกครั้ง

6. นำ can ที่ใส่ใบพัดกวนไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้ RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำ can ออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ (หน่วย RVU) ดังนี้ (รูปที่ ก.1)

1. เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
2. อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรือมีความความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็น °C
3. อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็น °C

4. ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU
5. ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
6. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (setback from peak) มีหน่วยเป็น RVU
7. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (trough) (setback from trough) มีหน่วย RVU



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ก.2 Farinograph Method ตามวิธี AACC Method 54-21

<u>อุปกรณ์</u>

Brabender Farinograph (รูปที่ ก.2) อ่างผสม (Mixing Bowl) ขนาดใหญ่ ความจุแป้ง 300 g

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. เปิด circulating pump และ thermostat ให้เครื่องทำงานก่อนใช้งานจริง
2. เติมน้ำใส่ในบิวเร็ตให้ขีดสูงสุดอ่านได้ที่ระดับศูนย์พอดี
3. ชั่งแป้งหนัก 300 g ใส่ลงในอ่างผสม
4. เติมน้ำหมึกที่เข็มบนกระดาษกราฟให้เต็ม ตั้งเข็มให้อยู่ที่ตำแหน่งเลข 9 บนกราฟ

5. เปิดเครื่องให้ใบพัดในอ่างผสมทำงาน เมื่อเข็มบนกราฟเดินมาที่ตำแหน่งเลข 0 เปิดน้ำจากบิวเร็ตลงสู่อ่างผสม โดยเติมน้ำลงไปในปริมาณที่ใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งตามที่คาดการณ์ไว้ ใช้ scraper ปาดเศษแป้งข้างอ่างผสมลงไป

6. ใช้แผ่นแก้ว (glass plate) ปิดอ่างผสมไว้ เมื่อการผสมดำเนินต่อไป กราฟที่ได้จะถูกบันทึกไว้

7. ถ้าปริมาณน้ำที่เติมลงไปเป็นความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water absorption) ที่แท้จริงของแป้ง เส้น 500 BU จะเป็นเส้นแบ่งกึ่งกลางความกว้างของ curve ที่ maximum dough development

8. ถ้าปริมาณน้ำที่เติมลงไปมากกว่าหรือน้อยกว่าความเป็นจริง เส้น 500 BU จะไม่อยู่กึ่งกลางความกว้างของ curve ถ้า curve อยู่สูงกว่าเส้น 500 BU แสดงว่าปริมาณน้ำที่เติมลงไปมากกว่าความเป็นจริง ถ้า curve อยู่ต่ำกว่าเส้น 500 BU แสดงว่าน้ำที่เติมลงไปน้อยกว่าความเป็นจริง ต้องปรับปริมาณน้ำที่เติมลงไปให้ถูกต้อง โดยความแตกต่างของจุดสูงสุดและต่ำสุดของ curve 20 BU จะเท่ากับ 0.6 – 0.8% absorption

9. เมื่อได้ curve ที่มีการเติมน้ำในปริมาณที่ถูกต้องลงไปแล้วนั้น นำมาประเมินหาค่า water absorption, dough development time, dough stability และ Mixing Tolerance Index (MTI)

10. ค่าที่อ่านได้จากเส้นโค้งของ Farinogram แสดงดังรูป ก.2 และค่าต่างๆ มีความหมายดังนี้

C หมายถึง เวลาเริ่มต้น (arrival time) วัดได้จากเวลา 0 นาทีของการเริ่มเดินเครื่อง ไปยังจุดแรกที่ส่วนบนของเส้นโค้งสัมผัสกับเส้น 500 BU วัดเป็นนาที

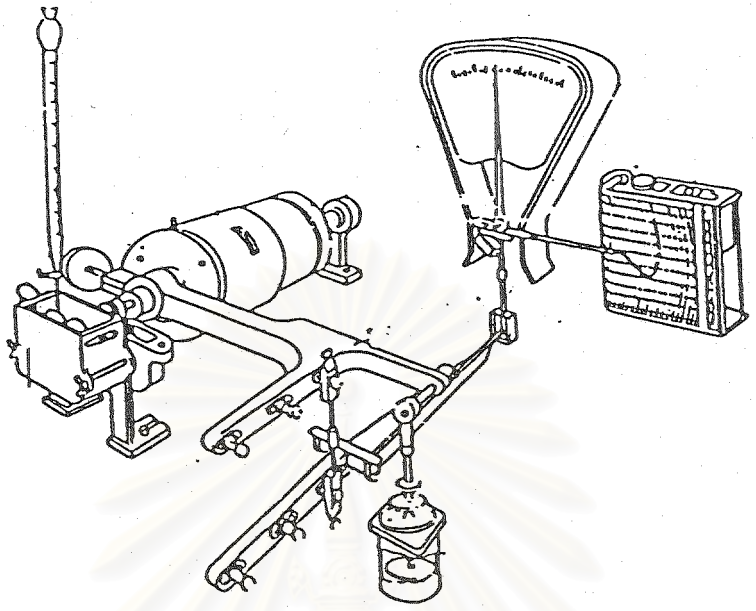
D หมายถึง เวลาที่เกิดจุดสูงสุดของเส้นโค้ง (peak time) วัดจากช่วงเริ่มเติมน้ำ 0 นาที ไปยังจุดสูงสุดของความคงตัวของเส้นโค้ง วัดเป็นนาที

E หมายถึง เวลาของความคงทนต่อการผสม (mixing stability) วัดได้จากผลต่างเวลาของจุดสุดท้ายก่อนพ้นเส้น 500 BU (F) กับเวลาเริ่มต้น (C) วัดเป็นนาที

F หมายถึง เวลาจากจุดเริ่มต้น วัดจาก 0 นาทีถึงจุดที่ส่วนบนของเส้นโค้งพ้นเส้น 500 BU วัดเป็นนาที

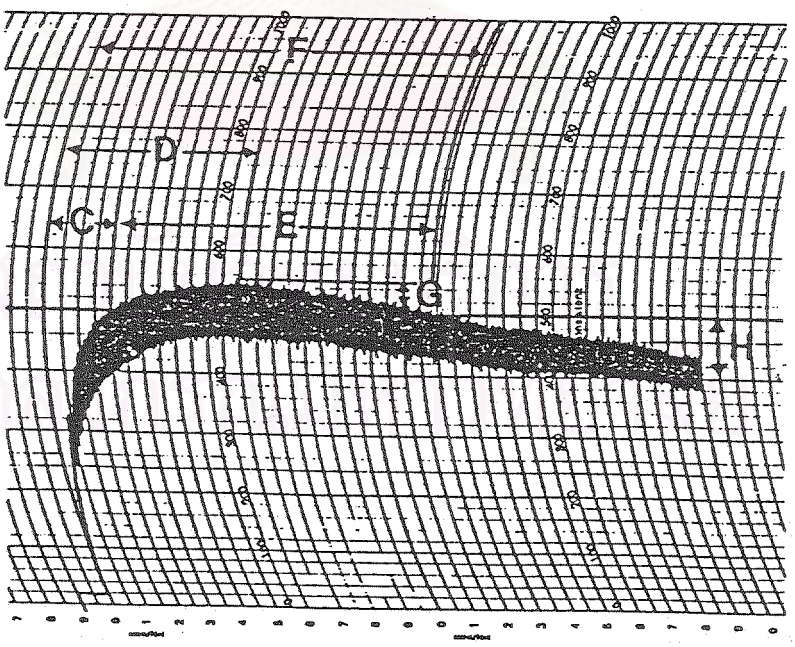
G หมายถึง BU ของความคงทนต่อการผสม (Mixing Tolerance Index, MTI) ซึ่งวัดจากผลต่างของเส้น BU ที่จุดสูงสุดของเส้นโค้งไปยังจุดบนของเส้นโค้งที่ 5 นาที หลังจากนั้นวัดเป็น BU

H หมายถึง BU ของความคงทนต่อการผสมวัดระหว่าง 500 BUกับจุดบนส่วนกลางของเส้นโค้งที่ 20 นาทีหลังจาก 500 BU นั้น



ที่มา: Matz, 1978

รูปที่ ก.2 เครื่อง Brabender Farinograph



รูปที่ ก.3 Farinogram

ก.3 Extensograph Method ตามวิธี AACC Method 54-10

<u>อุปกรณ์</u>

Brabender Farinograph และ Extensograph (รูปที่ ก.4) อ่างผสม (mixing bowl) ขนาดใหญ่ ความจุแป้ง 300 g

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งแป้งหนัก 300 g ใส่ลงในอ่างผสมของเครื่อง Farinograph

2. ละลายเกลือ 6 กรัม ในน้ำปริมาณน้อยกว่า optimum water absorption ประมาณ 2%

3. เติมน้ำหมึกที่เข็มบนกระดาษกราฟให้เต็ม ตั้งเข็มให้อยู่ที่ตำแหน่งเลขจำนวนเต็มบนกระดาษกราฟ

4. เปิดเครื่องให้ใบพัดในอ่างผสมทำงาน เติมน้ำเกลือที่เตรียมไว้ลงไปผสมเป็นเวลา 1 นาที หยุดเครื่องปาดข้างอ่างผสมและใช้แผ่นแก้วปิดอ่างผสมไว้ พักไว้เป็นเวลา 5 นาที

5. เปิดเครื่องให้เดินต่อไปเป็นเวลา 2 นาที แล้วหยุดเครื่อง หากเส้น 500 BU อยู่จุดกึ่งกลางของ curve แสดงว่าโดที่ผสมได้มี maximum consistency หากเส้น 500 BU ไม่อยู่จุดกึ่งกลางของ curve ต้องปรับปริมาณน้ำที่เติมลงไปโดยใช้หลักเดียวกับที่กล่าวแล้วในการทำ Farinograph

6. เมื่อได้โดที่มี maximum consistency แล้ว ตัดแบ่งโดที่ได้ออกเป็นก้อนๆละ 150 g จำนวน 2 ก้อน นำแต่ละก้อนไปปั้นให้กลมใน Extensograph rounder จำนวน 20 รอบ

7. โดที่ปั้นกลมแล้วจะถูกนำไปม้วนโดย roller ของเครื่อง Extensograph ให้เป็นรูปขอนไม้ ตรึงโดรูปขอนไม้ที่ได้ด้วย clamp ไว้บน dough holder แล้วนำไปพักไว้ใน humidified chamber เป็นเวลา 45 นาที

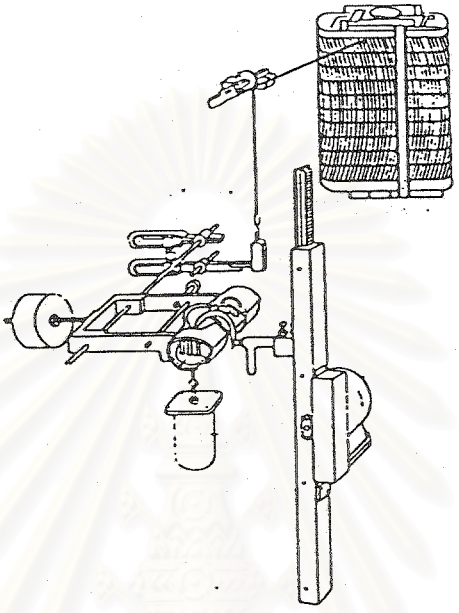
8. วาง dough holder ไว้บน balance arm ของเครื่อง Extensograph ตั้งเข็มบนกราฟให้อยู่ที่ตำแหน่ง 0

9. เปิดเครื่องให้ตะขอทำงาน ตะขอจะค่อยๆ เลื่อนลงมาสัมผัสกับโดบน dough holder และดึงให้โดขาดออก ในขณะที่ตะขอเกี่ยวดึงก้อนแป้งอยู่นั้นเข็มบนกระดาษกราฟก็จะเดินไปปรากฏเป็น curve ขึ้น หยุดเครื่อง ณ จุดที่โดถูกดึงให้ขาดออก

10. นำโดที่ถูกดึงให้ขาดแล้วนั้นมาปั้นให้กลม และนำไปม้วนเป็นรูปขอนไม้อีกครั้งหนึ่ง พักไว้อีก 45 นาที แล้วนำมาดึงซ้ำอีกครั้ง

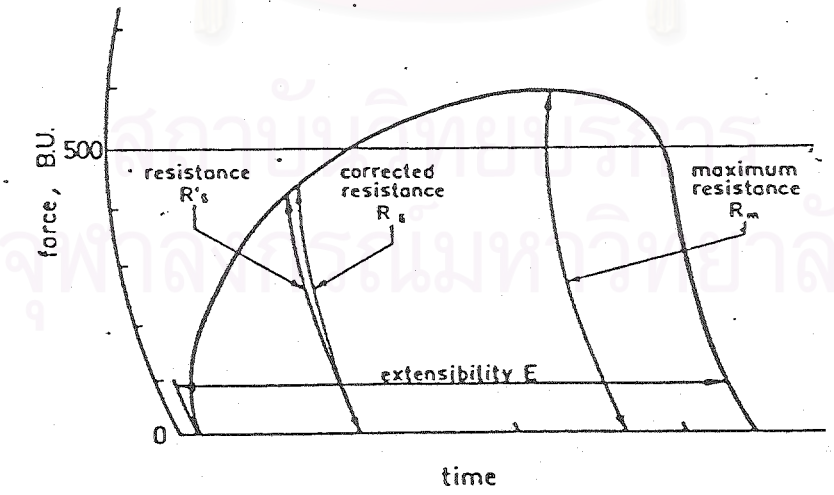
11. ในครั้งที่ 3 นำโดที่ถูกดึงครั้งที่ 2 แล้วมาปั้น ม้วน และพักอีก 45 นาที แล้วจึงนำมาดึงอีกครั้ง สรุปแล้วโดจะถูกนำมาดึงทั้งหมด 3 ครั้ง หลังจากพักไว้ 45, 90 และ 135 นาที

13. ประเมินผลของ curve ที่ได้ (รูปที่ ก.5) โดยอ่านค่า resistance to extension และ extensibility



ที่มา: Matz, 1978

รูปที่ ก.4 เครื่อง Extensograph



รูปที่ ก.5 Extensogram

ก.4 การวิเคราะห์ Oven Spring ของขนมปัง

อุปกรณ์

ไม้บรรทัด

วิธีการทดลอง

1.ในขั้นตอนการทำขนมปัง หลังจากที่หมักโดในพิมพ์ได้ที่แล้ว ก่อนนำเข้าอบ วัดความสูงของโดขนมปัง หน่วยเป็น cm

2. เมื่ออบขนมปังเสร็จ นำออกจากเตาอบ ก่อนจะนำขนมปังออกจากพิมพ์ วัดความสูงของขนมปัง หน่วยเป็น cm

3. คำนวณค่า Oven Spring ของขนมปังได้จากสูตร

$$\text{oven spring (\%)} = \frac{\text{ความสูงของขนมปังหลังอบ} - \text{ความสูงของขนมปังก่อนอบ}}{\text{ความสูงของขนมปังก่อนอบ}} \times 100$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

อุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวฟ่าง
2. ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมที่รู้ปริมาตรแน่นอน ขนาดใหญ่กว่าก้อนขนมปัง ไม่ต้องมีฝาปิด
3. กระบอกตวง
4. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

วิธีการทดลอง

1. เมื่ออบขนมปังเสร็จแล้ว นำออกจากพิมพ์ พักไว้ให้ขนมปังเย็นตัวลง ชั่งน้ำหนักของขนมปัง

2. บรรจุขนมปังลงในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมที่รู้ปริมาตรแน่นอน เติมเมล็ดข้าวฟ่างให้เต็มภาชนะ ปาดให้เมล็ดข้าวฟ่างเรียบเสมอกับขอบภาชนะ

3. วัดปริมาตรเมล็ดข้าวฟ่างที่บรรจุในภาชนะ คำนวณค่าปริมาตรจำเพาะโดย

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง } (cm^3/g) = \frac{\text{ปริมาตรภาชนะ} - \text{ปริมาตรเมล็ดข้าวฟ่าง}}{\text{น้ำหนักขนมปัง}}$$

ก.6 การวิเคราะห์ Hardness ของขนมปัง ดัดแปลงจากวิธี AACC Method 74-09

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดลักษณะสัมผัสเนื้ออาหาร Texturometer
2. หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm (P100)
3. ไม้บรรทัด
4. มีดแบบฟันเลื่อย

วิธีการทดลอง

1. ตัดขนมปังเป็นแผ่นหนา 2 cm กว้าง 5 cm ยาว 5 cm โดยบริเวณส่วนที่ตัดแต่ละแผ่นให้สูงจากขอบล่างของขนมปัง 1.5 cm

2. ทดสอบค่าความแข็งของเนื้อขนมปังโดยเครื่อง Texturometer โดยการวัดแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างขนมปังลงไปเป็นระยะทาง 40% ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture Expert™ และมีรายละเอียดการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

Mode:	Measure force in compression
Option:	Return to start
Pre-Test Speed	1.0 mm/s
Test Speed:	1.7 mm/s
Post-Test Speed	10.0 mm/s
Strain:	40%
Trigger Type:	20 g
Data Acquisition Rate:	250 pps

3. ใช้หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm (P100) และ 5 kg load cell

4. วางชิ้นตัวอย่างตรงกึ่งกลางของหัวกด ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนชิ้นตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง (ทำ 6-9 ซ้ำ/ก้อน)

ก.7 การวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง ดัดแปลงจากวิธีของ Munzing and Brack (1991) Kim และคณะ (1995) และ Slade และคณะ (1998)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Mettler Toledo รุ่น DSC 822)

2. Aluminium standard pan 40 μl
3. เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งแป้งขนมปังแห้งที่ทราบค่าความชื้นแน่นอนประมาณ 3.4 mg ใส่ลงใน pan อะลูมิเนียม หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นใน pan โดยคิดเป็นอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเท่ากับร้อยละ 30 : 70 โดยน้ำหนัก หรือสามารถคำนวณน้ำหนักแป้งแห้งและน้ำหนักน้ำกลั่นที่จะเติมได้จากสูตร

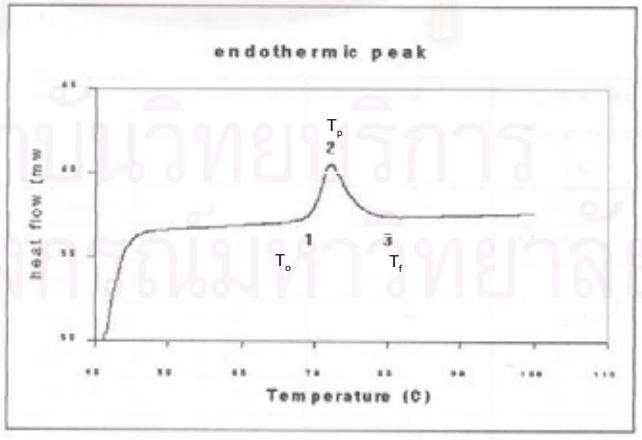
1.1 น้ำหนักแป้งแห้ง = $\frac{(100 - \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}) \times \text{น้ำหนักแป้งที่ชั่ง(g)}}{100}$

1.2 ปริมาณน้ำที่ควรเติม = [(น้ำหนักแป้งแห้ง x 70)/30] – น้ำหนักแป้งที่ชั่ง +น้ำหนักแป้งแห้ง

2. ปิดผนึกฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องมือปิดผนึก

3. นำ pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC ตั้งค่าของเครื่องที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 120 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที ใช้ indium ในการ calibrate

4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆ ดังรูปที่ ก.6 ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรด (onset temperature, T_o °C) อุณหภูมิที่ ΔH สูงสุด (peak temperature, T_p หน่วย °C) อุณหภูมิสิ้นสุดในการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรด (final temperature, T_f หน่วย °C) พลังงานที่เปลี่ยนแปลงในการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการรีโทรเกรด (ΔH หน่วย J/g)



รูปที่ ก.6 ลักษณะ Thermogram ที่ได้จากเครื่อง DSC

ภาคผนวก ข

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส ดัดแปลงจากวิธี AACC Method 61-03

<u>อุปกรณ์</u>

1. Spectrophotometer
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. Magnetic stirrer
4. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) 100 ml
5. ปิเปต

<u>สารเคมี</u>

1. Ethyl alcohol 95%
2. Sodium hydroxide
3. Glacial acetic acid
4. Iodine
5. Potassium iodide
6. Potato amylose ที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95%

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. เตรียมสารละลาย sodium hydroxide 2 N
2. เตรียมสารละลาย glacial acetic acid 1 N
3. เตรียมสารละลาย iodine โดยชั่ง iodine 0.2000 g และ potassium iodide 2.000 g ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 80 ml คนด้วย magnetic stirrer ทิ้งสารละลายไว้ข้ามคืน หรือจน iodine ละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 ml
4. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1000 g เติม ethyl alcohol 95% 1 ml เขย่าเบาๆ
5. เติมสารละลาย sodium hydroxide 9 ml
6. ปั่นกวนด้วย magnetic stirrer 10 นาที แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 ml
7. เตรียมขวดปรับปริมาตร 100 ml ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 ml เติม glacial acetic 2 ml และสารละลาย iodine 2 ml

8. ดูดน้ำแป้งที่เตรียมไว้ 5 ml ใส่ในขวดแก้วที่เตรียมไว้ ตามข้อ 7 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 ml แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

9. วัด Absorbance ของสารละลายตามข้อ 8 ด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 nm (นาโนเมตร)

10. นำค่า absorbance ไปหาปริมาณอะมิโลส (%) โดยการเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน

<u>การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน</u>

11. ชั่ง potato amylose 0.0400 g เช่นเดียวกับข้อ 4-6 เป็นสารละลายมาตรฐาน

12. เตรียมขวดปรับปริมาตรจำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 ml เติมสารละลาย glacial acetic 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 ml ในขวดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลาย Iodine 2 ml ในแต่ละขวด

13. ดูดสารละลายมาตรฐานตามข้อ 11 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ตามลำดับลงในขวดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ที่เตรียมไว้ในข้อ 12 ซึ่งเท่ากับปริมาณอะมิโลส 8, 16, 24, 32 และ 40% ตามลำดับ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100ml

14. วัด absorbance ของสารละลายตามข้อ 13 ด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 nm (นาโนเมตร) นำค่า absorbance ที่วัดได้มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

15. นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้ มาใช้แปลงค่า absorbance ที่วัดได้จากตัวอย่างให้เป็นปริมาณอะมิโลส (%)

ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AACC Method 44-15A

<u>อุปกรณ์</u>

1. ตู้อบลมร้อน WTE Binder รุ่น E-53
2. ภาชนะอลูมิเนียม มีฝาปิด
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 5 g ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 100 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทำให้เย็นใน dessiccator และชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาความชื้นจากสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักก่อนอบ – น้ำหนักหลังอบ) x 100}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ค.1

ชื่อผู้ทดสอบชิม _____ เพศ_____อายุ_____ปี วันที่_____

<u>คำชี้แจง</u> โปรดทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมปังต่อไปนี้และประเมินเป็นคะแนนที่สามารถอธิบายความรู้สึกของท่านได้ดีที่สุด โดยคะแนนสูงสุดคือ 9 และ คะแนนต่ำสุดคือ 1 คะแนน

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง				
ความสม่ำเสมอของเซลล์ (uniformity of cells) 9-8: เซลล์ขนมปังมีรูปร่างและขนาดเท่าๆกันหมด 7-6: เซลล์ขนมปังมีรูปร่างและขนาดเท่ากันเป็นส่วนใหญ่ 5-3: เซลล์ขนมปังมีรูปร่างและขนาดไม่ค่อยสม่ำเสมอ 2-1: เซลล์ขนมปังมีรูปร่างและขนาดไม่สม่ำเสมอเลย					
ความนุ่ม (hardness) 9-7: เนื้อขนมปังนุ่ม 6-4: เนื้อขนมปังค่อนข้างนุ่ม 3-1: เนื้อขนมปังแข็ง					
การเด้งคืนตัวของเนื้อขนมปัง (springiness) 9-7: เนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่นและการเด้งคืนตัวดี 6-4: เนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่นและการเด้งคืนตัวค่อนข้างดี 3-1: เนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่นและการเด้งคืนตัวไม่ดี					
ความชุ่มชื้น (moistness) 9-8: เนื้อขนมปังชุ่มชื้นดีมาก 7-6: เนื้อขนมปังชุ่มชื้นดี 5 : เนื้อขนมปังค่อนข้างแห้งแต่ยังยอมรับได้ 4-3: เนื้อขนมปังค่อนข้างแห้ง 2-1: เนื้อขนมปังแห้งกระด้าง					
การยอมรับโดยรวม (overall acceptability) 9-6: ยอมรับได้ 5 : เริ่มยอมรับไม่ได้ 4-1: ยอมรับไม่ได้					

ค.2

ชื่อผู้ทดสอบชิม _____ เพศ _____ อายุ _____ ปี วันที่ _____

คำชี้แจง โปรดทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมปังต่อไปนี้ และเขียนหมายเลขตัวอย่าง ณ ตำแหน่งคะแนนที่สามารถอธิบายความรู้สึกของท่านได้ดีที่สุด โดยคะแนนสูงสุดคือ 10 คะแนน และคะแนนต่ำสุดคือ 0 คะแนน

1. **ความสม่ำเสมอของเซลล์** (uniformity of cells)

เซลล์ขนมปังมีรูปร่างและขนาดไม่สม่ำเสมอ _____ เซลล์ขนมปังมีรูปร่างและขนาดสม่ำเสมอ

0 5 10

2. **ความนุ่ม** (firmness)

เนื้อขนมปังแข็ง _____ เนื้อขนมปังนุ่ม

0 5 10

3. **การเด้งคืนตัวของเนื้อขนมปัง** (springiness)

เนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่นและการเด้งคืนตัวไม่ดี _____ เนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่นและการเด้งคืนตัวดีมาก

0 5 10

4. **ความชุ่มชื้น** (moistness)

เนื้อขนมปังแห้งกระด้าง _____ เนื้อขนมปังชุ่มชื้นดีมาก

0 5 10

5. **รสชาติ** (taste)

รสชาติไม่ดี _____ รสชาติดีมาก

0 5 10

6. **การยอมรับโดยรวม** (overall acceptability)

ยอมรับไม่ได้ _____ ยอมรับได้

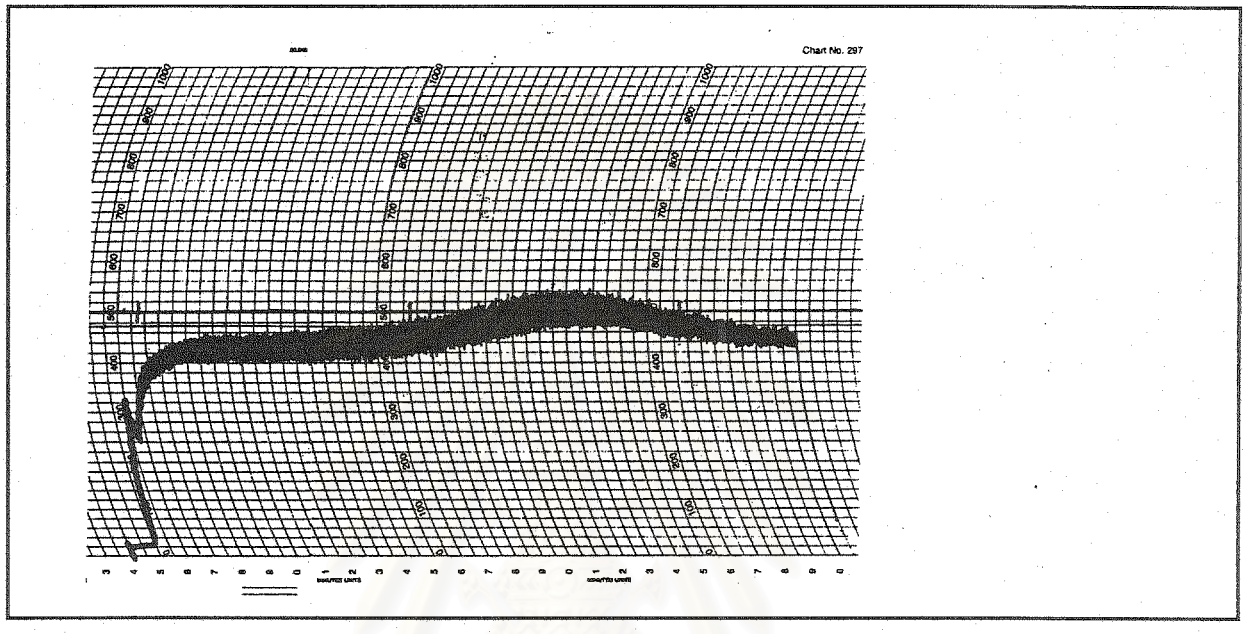
0 5 10

หมายเหตุ/คำแนะนำ _____

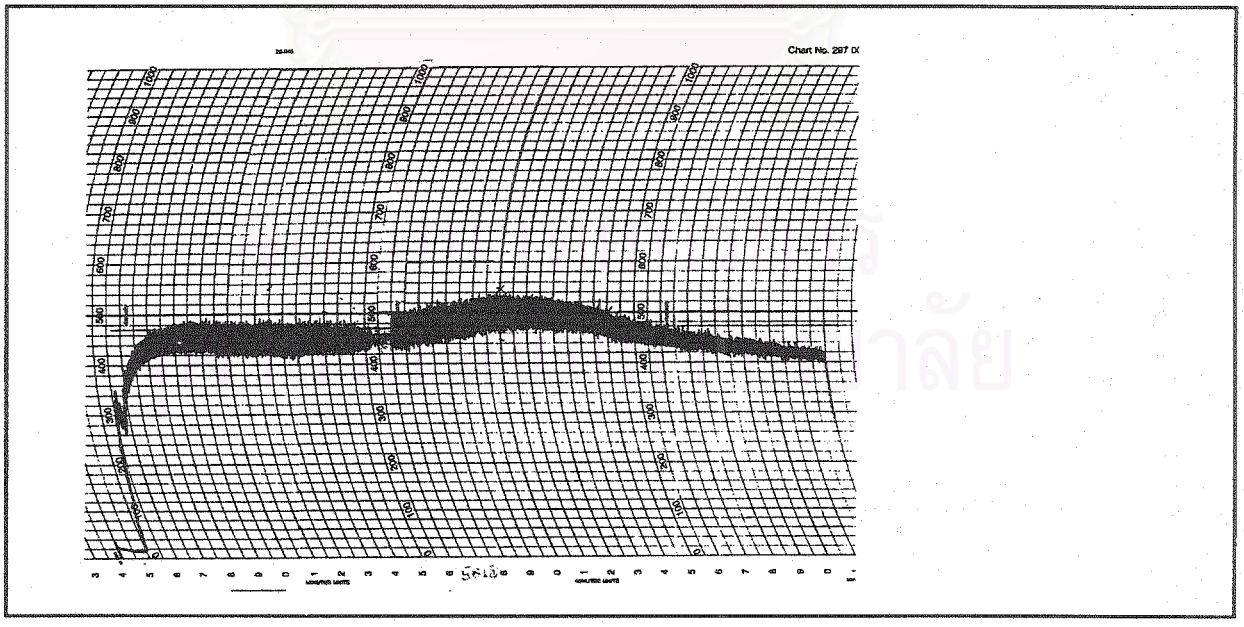
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

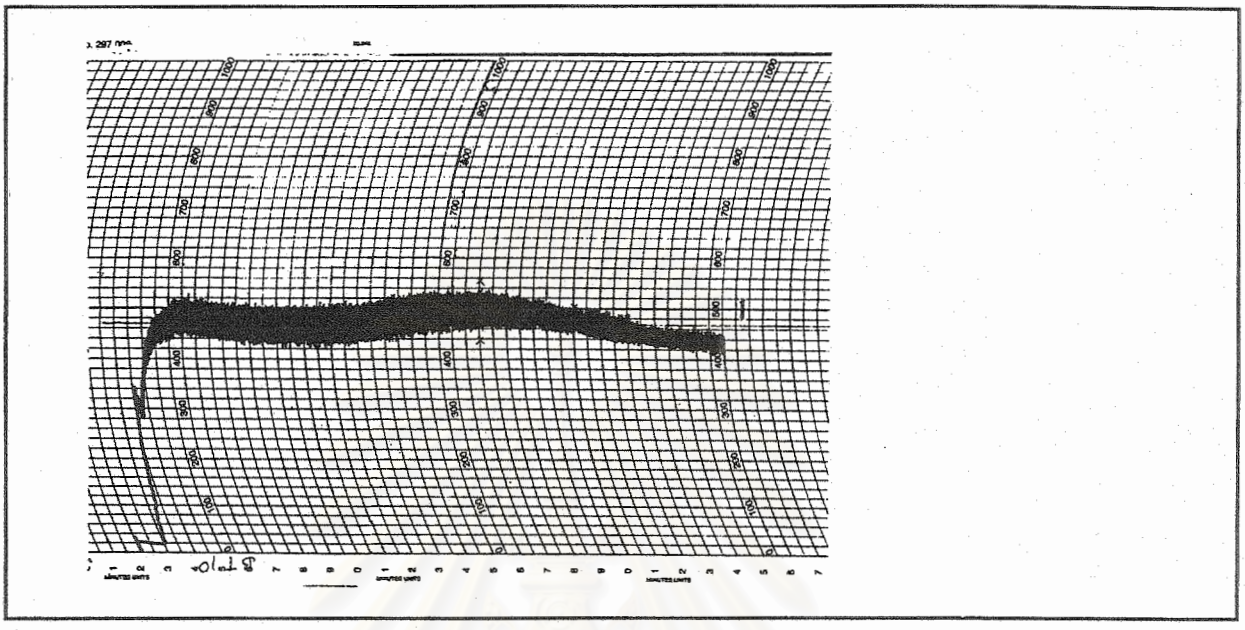
ง.1 Farinogram ของแป้งผสมชนิดต่างๆ



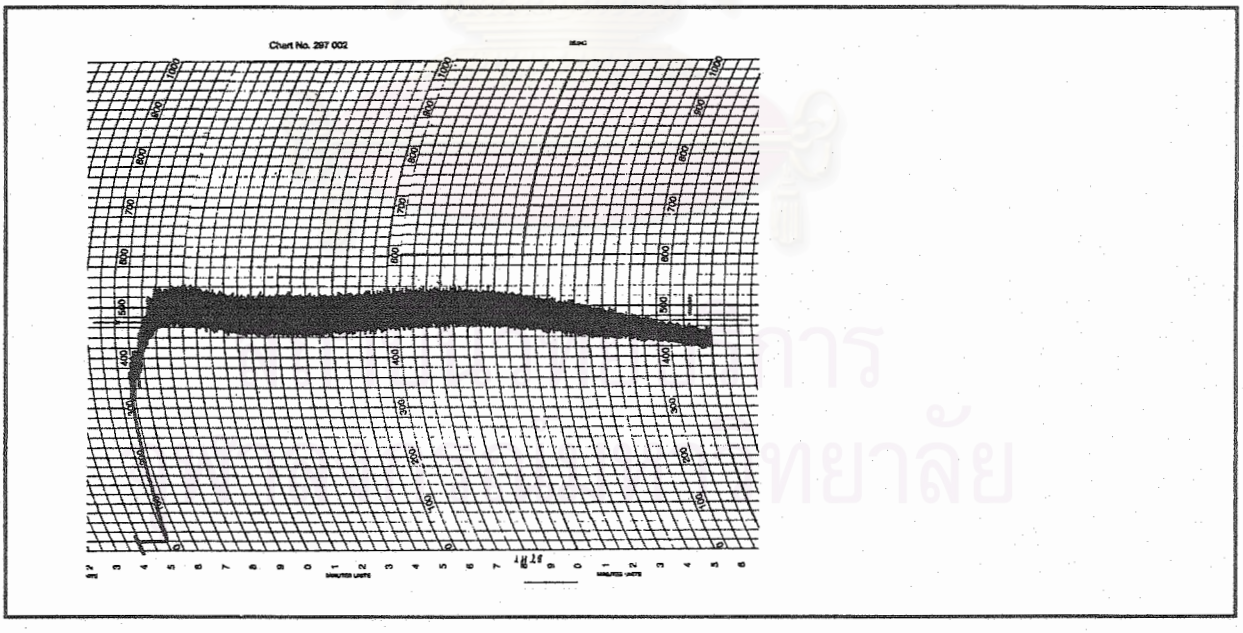
(a) BC00



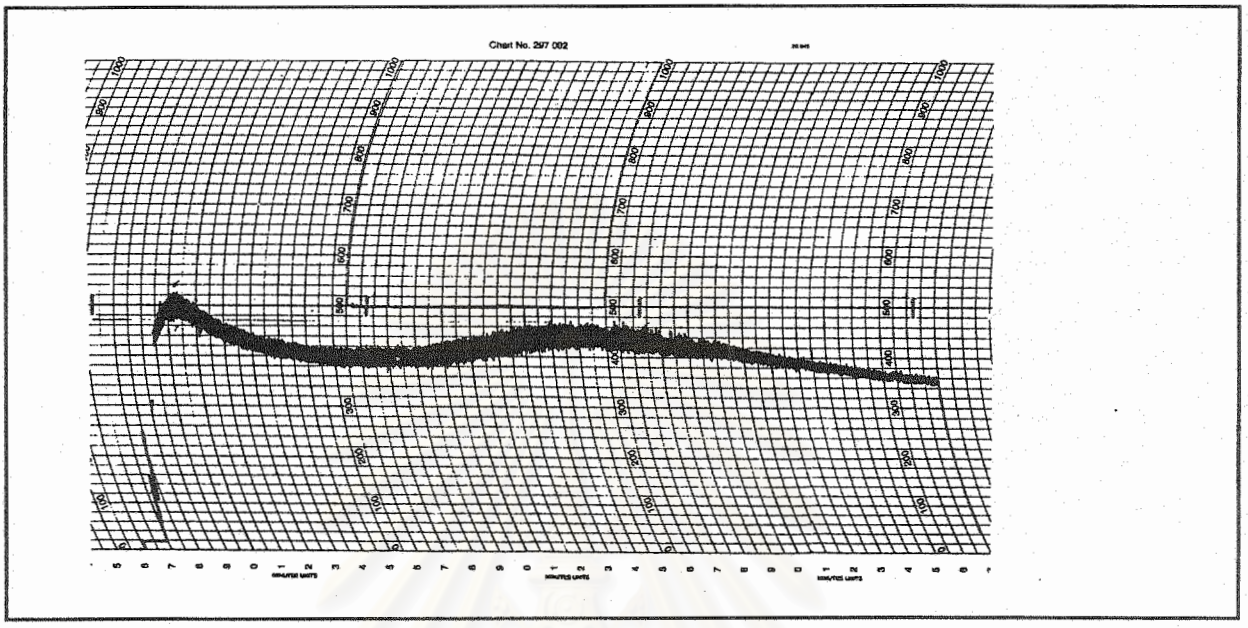
(b) BT05



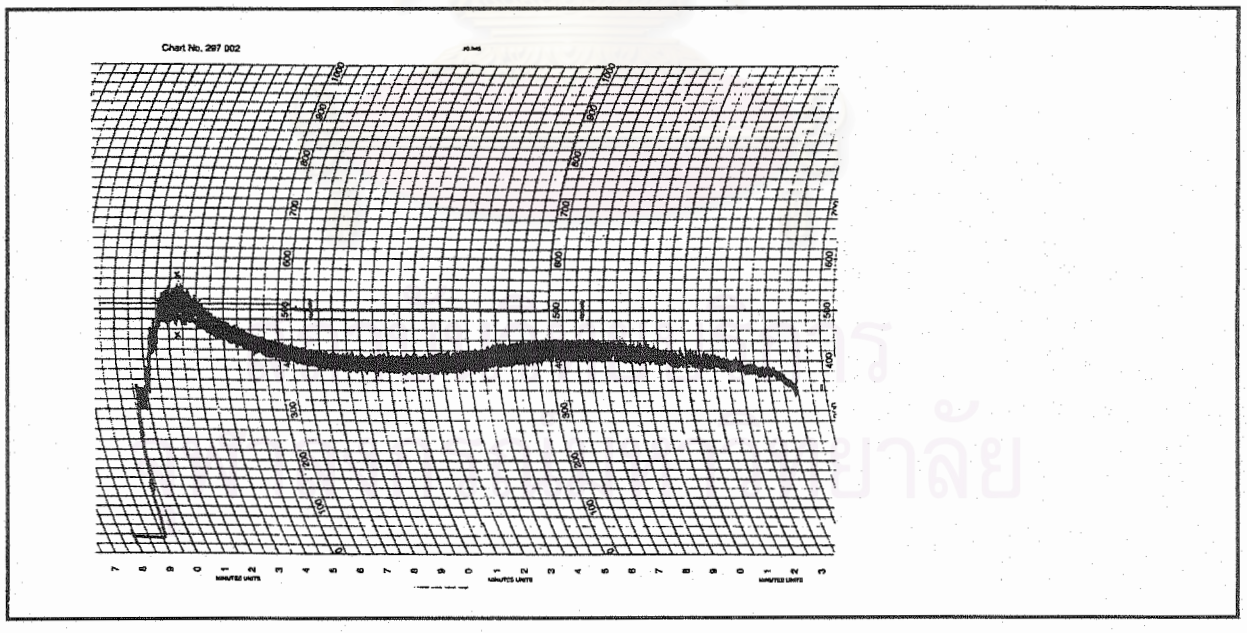
(c) BT10



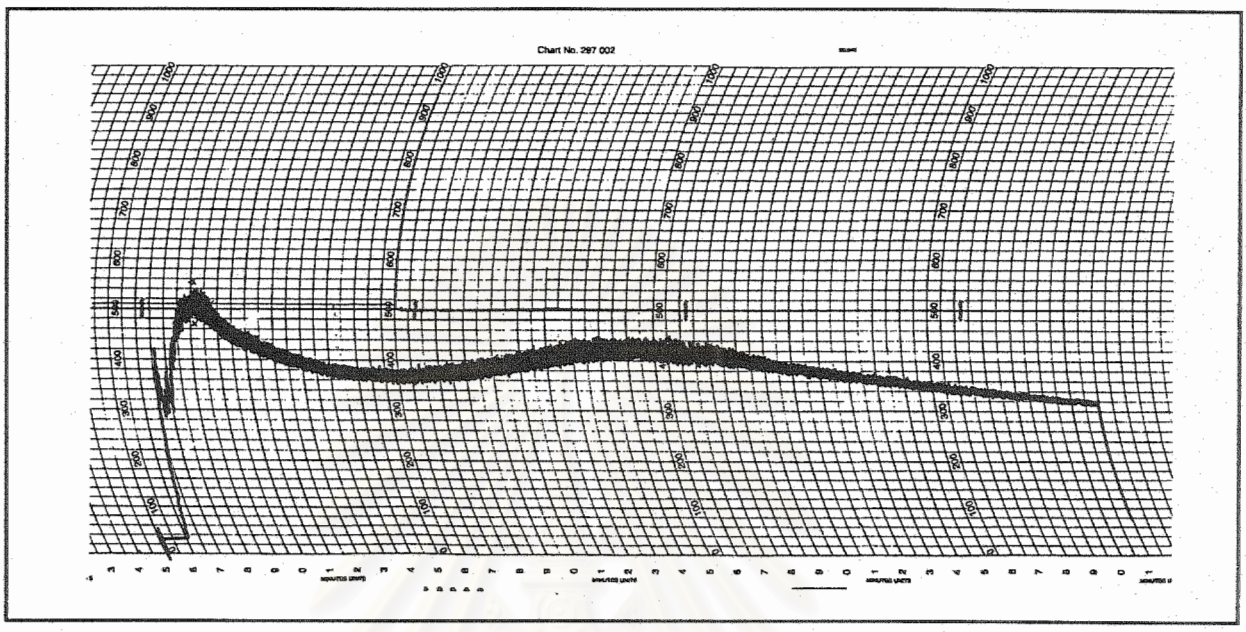
(d) BT15



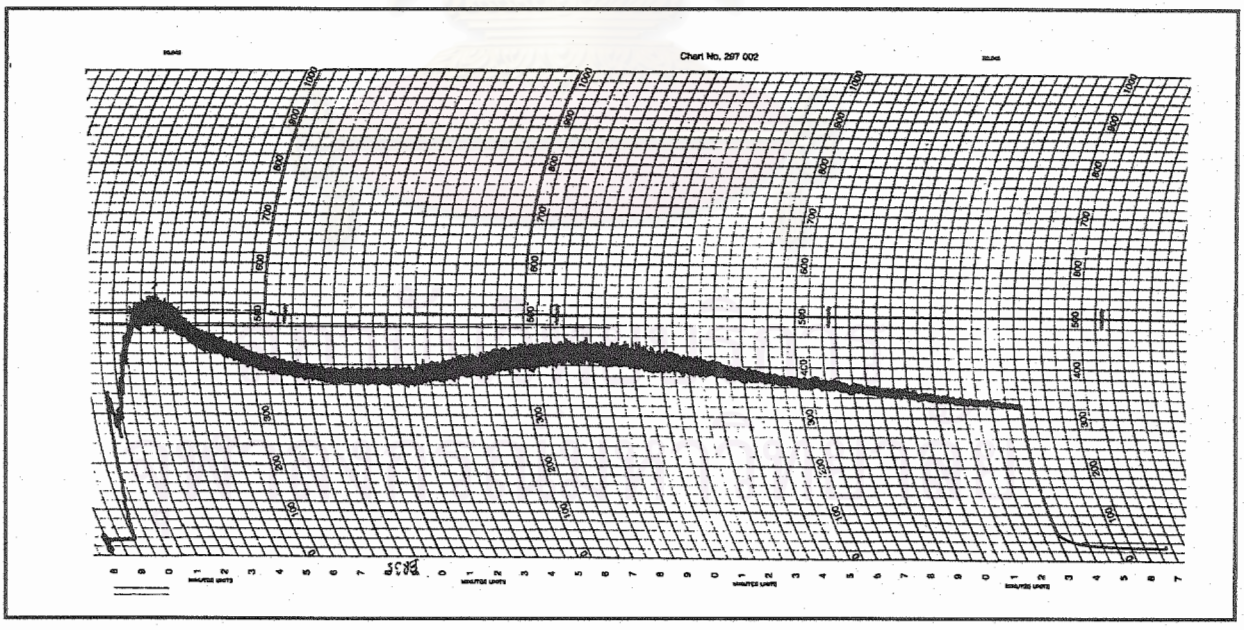
(e) BR01



(f) BR07



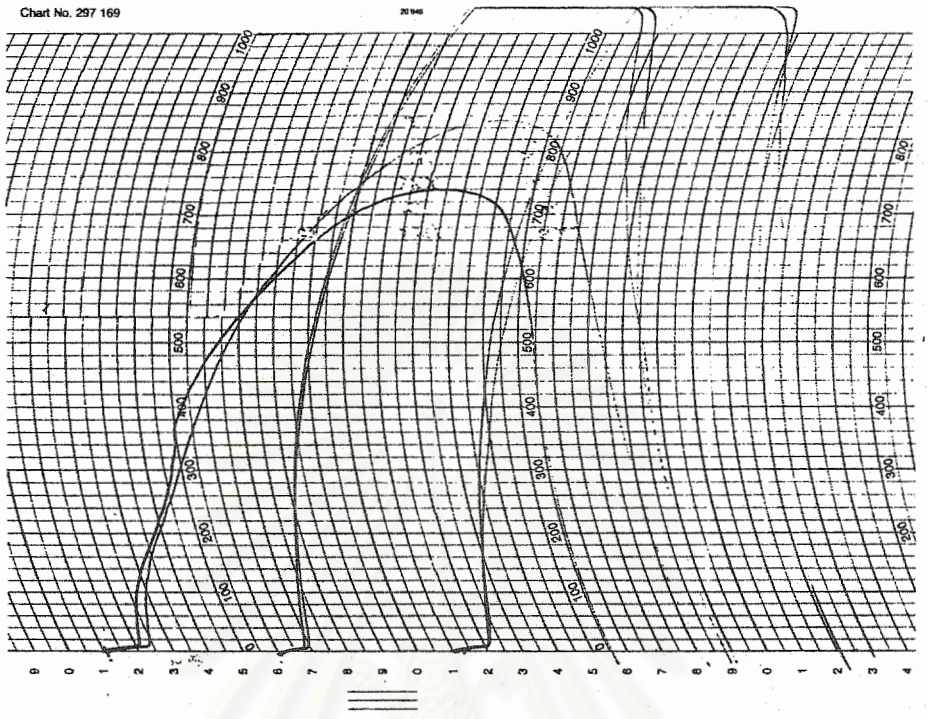
(g) BR14



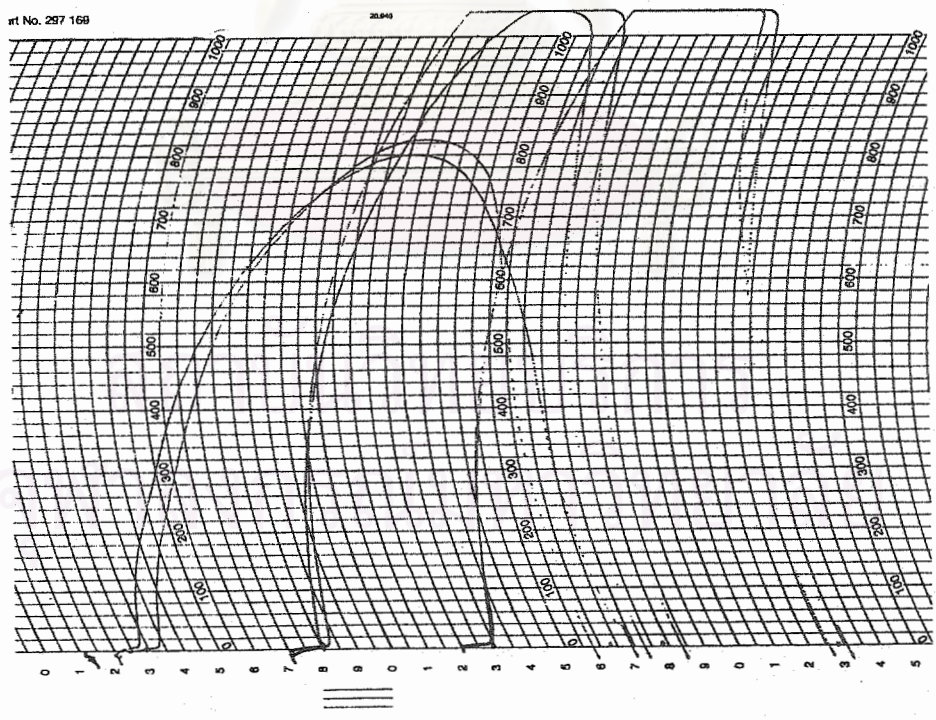
(h) BR35

รูปที่ ง.1 Farinogram ของแป้งผสมชนิดต่างๆ

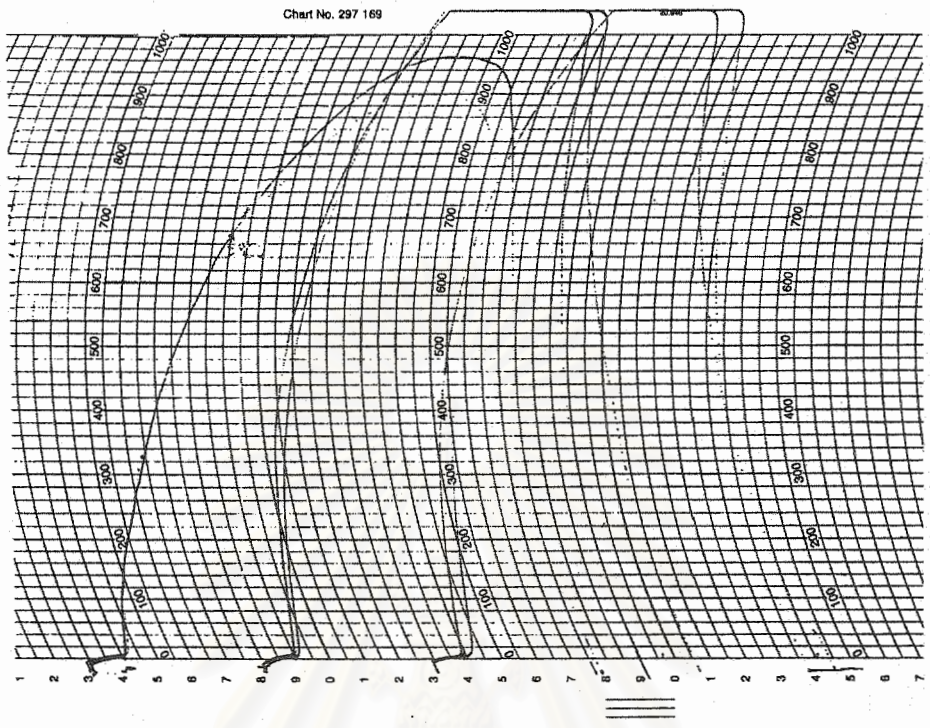
ง.2 Extensogram ของแป้งผสมชนิดต่าง ๆ



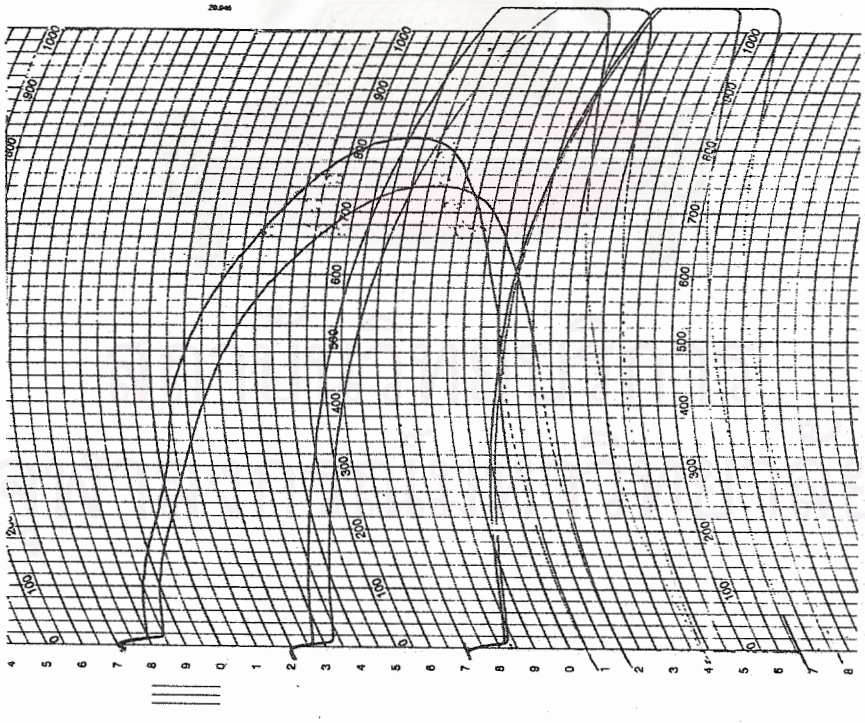
(a) BC00



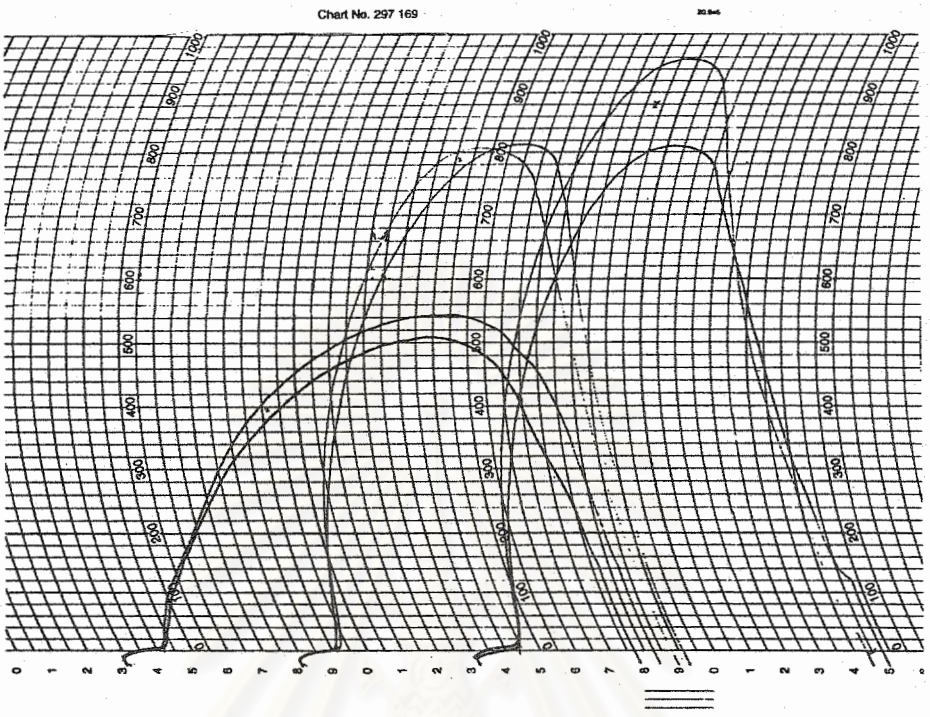
(b) BT05



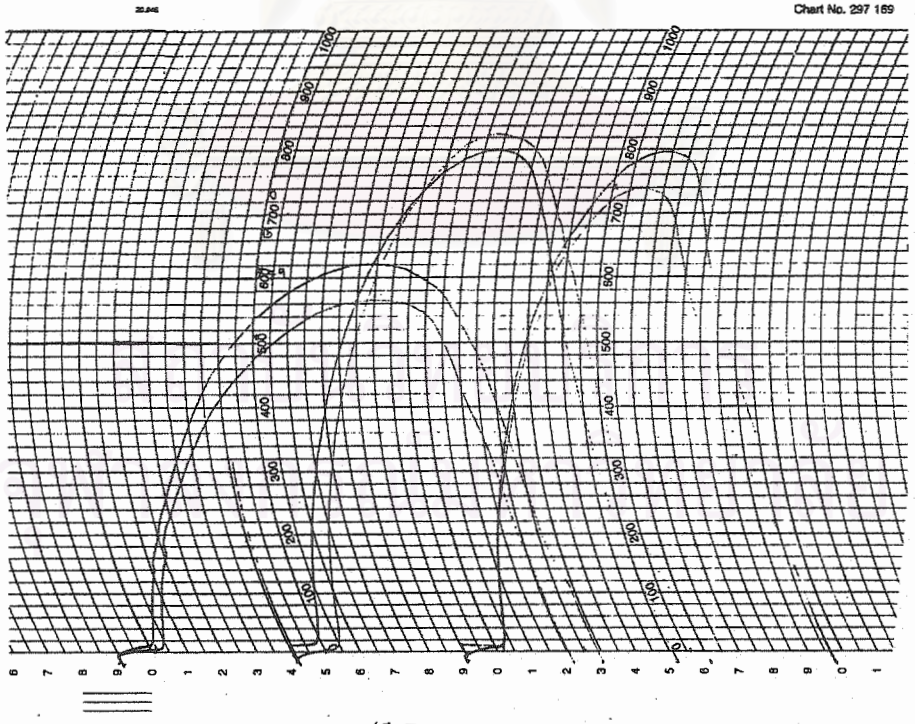
(c) BT10



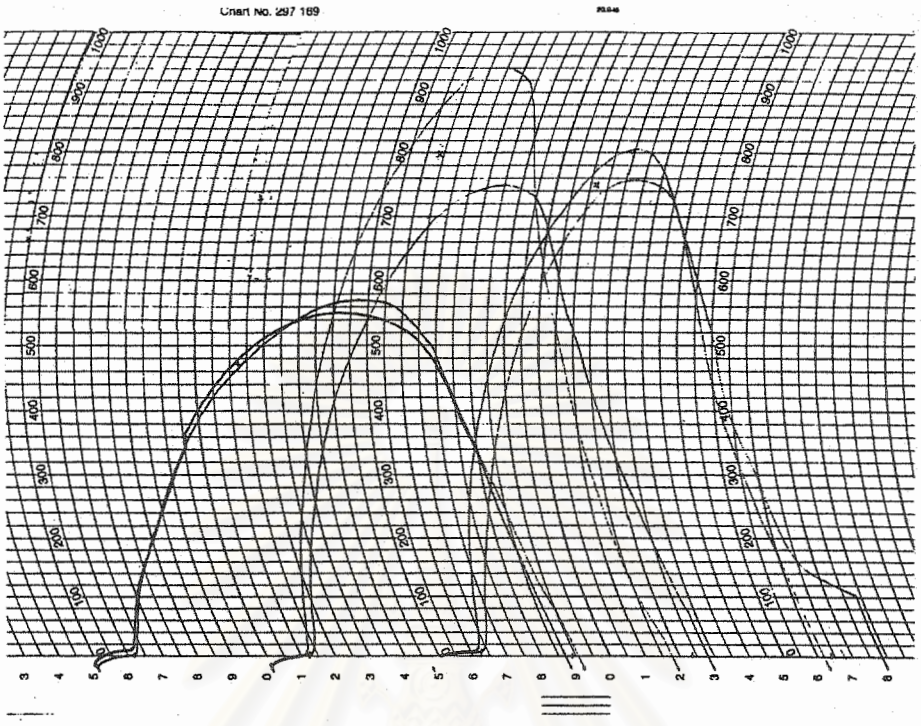
(d) BT15



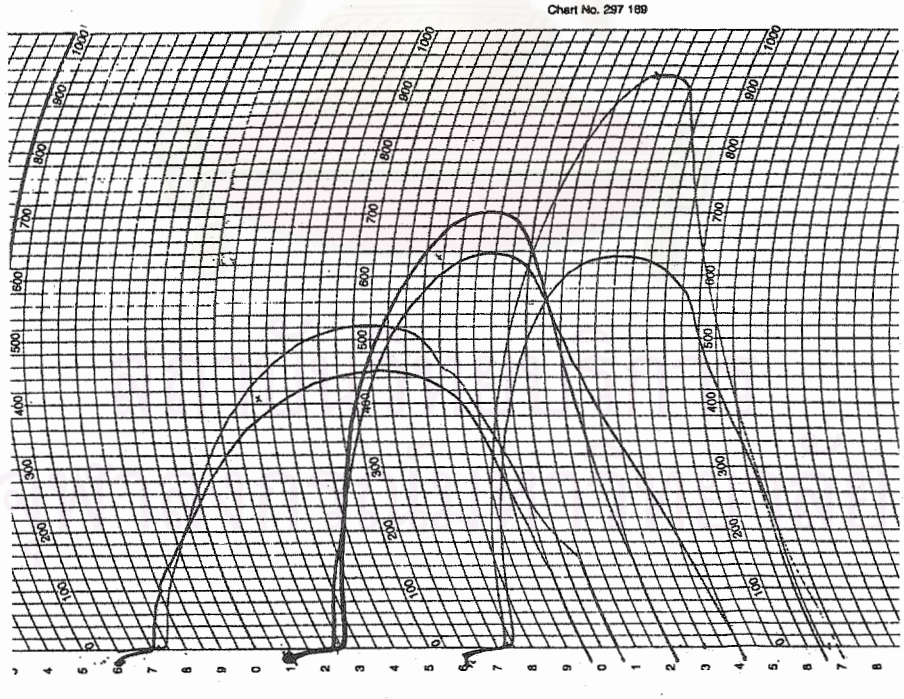
(e) BR01



(f) BR07



(g) BR14



(h) BR35

รูปที่ ง.2 Extensogram ของแป้งผสมชนิดต่างๆ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปริยาพร ชุนดี เกิดวันที่ 10 พฤศจิกายน 2518 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2540 เข้าทำงานในบริษัทเอกชนในแผนกควบคุมคุณภาพ จากนั้นจึงออกมาศึกษาต่อระดับปริญญาโท ณ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย