การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ดารารัตน์ นาคละออ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2553
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ คารารัตน์ นาคละออ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภัสรา แสงนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภัสรา แสงนาค)

..... กรรมการ
(ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)
วันที่ 26 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2553

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท
จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำปีงบประมาณ 2552
และทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา
จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำภาคต้น ปีการศึกษา 2552

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณายิ่งของ ผศ. ดร. กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ รวมทั้งให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. อาภัสรา แสงนาค อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพวิทยาเขตพระนครใต้ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ ผศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ ที่ช่วยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมถึงคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และ ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่านที่เสียสละเวลาในการจัดหา และอำนวยความสะดวกในการยืมเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี เป็นอย่างดีตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท วินเนอร์กรุ๊ป เอนเตอร์ไพรส์ และบริษัท แคลเทค จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์มอลโตเดกซ์ทริน และโมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์ ในการทำงานวิจัย

ที่สำคัญขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวนาคละออ ครอบครัวเล็บครุฑ ครอบครัวนิยมรัตนา และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ รวมทั้งช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท จากคณะวิทยาศาสตร์ และทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

สำหรับประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แก่คณาจารย์ ครอบครัว ผู้มีพระคุณต่อผู้วิจัยทั้งในอดีต และปัจจุบัน ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ทุกท่าน

ดารารัตน์ นาคละออ

49912526: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร; วท.ม.
(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)
คำสำคัญ: ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ/ แป้งเมล็ดขนุน/ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ดารารัตน์ นาคละออ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน (DEVELOPMENT OF SNACK CHIPS FROM JACKFRUIT SEED FLOUR) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, Ph.D., อาภัสรา แสงนาค, D.Tech.Sci. 151 หน้า. ปี พ.ศ. 2553.

งานวิจัยนี้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนเพื่อเพิ่มมูลค่าเมล็ดขนุนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูป และบริโภคขนุน และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ โดยเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 2 วิธี คือการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมได้ โดยมีแป้งดิบจากเมล็ดขนุนเป็นตัวอย่างควบคุม พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ สูงกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด และตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ยังส่งผลให้แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้ มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงขึ้นด้วย โดยผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ได้คะแนนด้านการยอมรับโดยรวมมากที่สุด อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบยังคงรู้สึกถึงความเป็นแป้งที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ จึงเลือกแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมด้วยวิธีดังกล่าวมาศึกษาต่อในขั้นตอนการพัฒนาสูตร และการพัฒนากระบวนการผลิต โดยพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบด้วยแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แปรปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด อยู่ในช่วง 25-100 0-20 และ 0-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ตามลำดับ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีค่าความแตกต่างของสี และค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบประกอบด้วย แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 82.5 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเจ้า 10.0 เปอร์เซ็นต์ และแป้งข้าวโพด 7.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาศึกษาขั้นตอนการทำให้ผลิตภัณฑ์สุกโดยใช้วิธีการอบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส แทนวิธีการทอด พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ได้คะแนนด้านการยอมรับโดยรวมมากที่สุด และมีสมบัติทางกายภาพได้แก่ สี และลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมัน และพลังงานลดลง 78.33-79.21 เปอร์เซ็นต์ และ 23.60-24.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า

49912526: MAJOR: FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY; M.Sc. (FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY)
KEYWORD: SNACK CHIPS/ JACKFRUIT SEED FLOUR/ DRUM DRYER
DARARAT NARKLAOR: DEVELOPMENT OF SNACK CHIPS FROM JACKFRUIT SEED FLOUR. ADVISORY COMMITTEE: KULLAYA LIMROONGRUENGRAT, Ph.D., ARPATHSRA SANGNARK, D.Tech.Sci. 151 P. 2010.

Snack chips were developed from jackfruit seed flour (JFS) in order to add value of jackfruit seeds, a by-product of jackfruit, and improve quality of the snack chips. JFS was pregelatinized by using two methods: boiling jackfruit seeds for 15, 30 and 45 minutes and double drum drying at 120, 130 and 140. Physical properties of pregelatinized JFS and qualities of prepared snack chips were investigated, and native JFS was also used as a control sample. Water solubility index (WSI), water absorption index (WAI) and degree of gelatinization (DG) of JFS pregelatinized by drum drying were higher than those of JFS pregelatinized by boiling and the control. Moreover, the higher temperature of drum dryer influenced the higher WSI, WAI and DG. Snack chips made from JFS pregelatinized by drum drying at 130 ^{o}C had the highest overall acceptance score; however, the product had mealy mouthfeel. Therefore, JFS prepared from this condition was selected to continue studying on formulation and process development. A three-factor mixture design was applied to develop snack chips formulation from pregelatinized JFS, rice flour (RF) and corn flour (CF) in the range of 25-100, 0-20 and 0-15 % (flour basis), respectively. Color difference and fracturability of snack chips significantly increased ($p<0.05$) as the amount of pregelatinized JFS increased. The optimum formula comprised 82.5 % pregelatinized JFS, 10 % RF and 7.5 % CF. In this research, baking process was applied to cook snack chips in stead of frying process. The snack chips were baked by using conventional and conveyor electric ovens at 160, 180 and 200 ^{o}C. The product baked in the conventional oven at 180 ^{o}C received the highest overall acceptance score and its physical properties including color values and texture attributes of the obtained product were comparable to those of commercial products. In addition, the fat content and calories of the obtained product decreased 78.33-79.21 % and 23.60-24.66 % as compared to commercial products.

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
สารบัญ		ค
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ซ
บทที่		
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	สมมติฐานของการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	เมล็ดขนุน	5
	การเตรียมแป้งจากเมล็ดขนุน	6
	องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของแป้งเมล็ดขนุน	8
	แนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์อาหาร	10
	ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว	12
	ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ	14
	การพัฒนาสูตรโดยวางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design)	25
	การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ	28
3	วิธีดำเนินการวิจัย	30
	วัตถุดิบ	30
	อุปกรณ์และเครื่องมือ	31
	สารเคมี	32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	33
	ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ	33
	ตอนที่ 2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	38
	ตอนที่ 3 ศึกษาภาวะในการทำให้สุกที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	40
	ตอนที่ 4 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	43
4	ผลการวิจัย	45
	ตอนที่ 1 ผลการศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ	45
	ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	56
	ตอนที่ 3 ผลการศึกษาภาวะในการทำให้สุกที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	61
	ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	76
5	อภิปรายและสรุปผล	78
	ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ	80
	ตอนที่ 2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	84
	ตอนที่ 3 ศึกษาภาวะในการทำให้สุกที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	86
	ตอนที่ 4 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	90

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	สรุปผลการทดลอง	91
	ข้อเสนอแนะ	92
บรรณานุกรม		93
ภาคผนวก		101
	ภาคผนวก ก วิธีการใช้งานเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	102
	ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน	105
	ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ	110
	ภาคผนวก ง แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	115
	ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางภาพถ่าย (Image Analysis)	117
	ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	120
	ภาคผนวก ช การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	123
	ภาคผนวก ซ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	134
ประวัติย่อของผู้วิจัย		151

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดขนุนน้ำหนัก 100 กรัม.....	6
2-2	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน.....	10
2-3	สเกลฮีโดนิกที่ใช้ทดสอบการยอมรับของวิธีทดสอบฮีโดนิก (Hedonic Test).....	29
3-1	สูตรของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.....	36
3-2	สูตรส่วนผสมแป้งที่ได้มาจากการวางแผนการทดลองแบบผสม.....	39
3-3	วิธีการและอุณหภูมิในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.....	43
4-1	ผลของวิธีการเตรียมต่อปริมาณแป้งเมล็ดขนุน.....	46
4-2	ผลของวิธีการเตรียมต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และดัชนีความขาวของแป้งเมล็ดขนุน.....	47
4-3	ผลของวิธีการเตรียมต่อดัชนีการละลาย ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งเมล็ดขนุน.....	48
4-4	ผลของวิธีการเตรียมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งจากเมล็ดขนุน.....	49
4-5	ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มสี (C*) และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.....	52
4-6	ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.....	53
4-7	ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.....	55
4-8	ผลของปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพดต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.....	57
4-9	ผลของปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพดต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.....	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-10	ผลของปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพดต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกไม่เป็นแป้ง และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	60
4-11	ผลของภาวะในการอบต่อเวลาที่ใช้ในการอบ และความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	63
4-12	ผลของภาวะในการอบต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มของสี (C*) และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบที่ภาวะต่าง ๆ	64
4-13	ผลของภาวะในการอบต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	65
4-14	ผลของภาวะในการอบต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	75
4-15	คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A และ B	76
4-16	คุณภาพทางเคมีของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A และ B	77

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ช่องว่างของแผนการทดลองแบบผสมที่ประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัว.....	26
3-1	พื้นที่ที่ใช้ในการพัฒนาสูตรที่ได้มาจากการวางแผนการทดลองแบบผสม.....	39
4-1	ลักษณะ Birefringence จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของเม็ดแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธี Control (ก) B-15 (ข) B-30 (ค) B-45 (ง) DD-120 (จ) DD-130 (ฉ) DD-140 (ช).....	50
4-2	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม (ก) ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธี B-15 (ข) B-30 (ค) B-45 (ง) DD-120 (จ) DD-130 (ฉ) และ DD-140 (ช).....	51
4-3	Contour Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ (JF) แป้งข้าวเจ้า (RF) และแป้งข้าวโพด (CF) ต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบสูตรต่าง ๆ.....	59
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส.....	62
4-5	ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ก) 180 องศาเซลเซียส (ข) และ 200 องศาเซลเซียส (ค).....	66
4-6	ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ก) 180 องศาเซลเซียส (ข) และ 200 องศาเซลเซียส (ค).....	67
4-7	ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A.....	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-8	ลักษณะเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ก) 180 องศาเซลเซียส (ข) 200 องศาเซลเซียส (ค) และที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ง) 180 องศาเซลเซียส (จ) 200 องศาเซลเซียส (ฉ).....	69
4-9	ขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาและเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส.....	70
4-10	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส.....	71
4-11	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส.....	71
4-12	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส.....	72
4-13	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส.....	72
4-14	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส.....	73
4-15	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส.....	73

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (Snack Food) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างแพร่หลาย เนื่องจากรับประทานได้ง่าย และมีรูปแบบที่หลากหลาย อุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยจึงมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากการมีโรงงานขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก รวมถึงการผลิตในลักษณะเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนเพิ่มมากขึ้น ตลาดของผลิตภัณฑ์ขนมเคี้ยวแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก ได้แก่ มันฝรั่งแผ่นกรอบ (Potato Chip) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extruded Snack) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทถั่ว (Pea & Nut) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลา (Fish Snack) และข้าวเกรียบกุ้ง (Prawn Crackers) (Hodgen, 2005) สำหรับตลาดผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยเป็นตลาดหนึ่งที่ใหญ่ที่สุดและมีผลิตภัณฑ์หลากหลายมากที่สุดในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิค (Research & Markets, 2006) โดยในปี พ.ศ. 2552 มีมูลค่าทางการตลาดสูงถึง 12,500 ล้านบาท ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้รับความนิยมมาก และมีส่วนแบ่งการตลาดสูงถึง 33 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าทางการตลาดผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทั้งหมด คิดเป็นมูลค่า 4,125 ล้านบาท (ฐานเศรษฐกิจ, 2552) สำหรับประเทศไทยมีวัตถุดิบทางการเกษตรหลายชนิดที่สามารถนำแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวได้ เช่น การแปรรูปผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากทุเรียน ฟักทอง และขนุน เป็นต้น

ขนุนเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญในเขตร้อน และมีการปลูกมากในประเทศแถบเอเชีย เนื่องจากเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่สามารถปลูกได้ตลอดปีและให้ผลผลิตต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในประเทศไทยมีการบริโภคขนุนทั้งผลดิบและสุก ผลดิบใช้ประกอบอาหารรับประทานแทนผัก ส่วนเนื้อขนุนนำมาบริโภคเป็นขนุนสด หรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น ขนุนอบแห้ง ขนุนในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ขนุนแช่แข็ง ขนุนแช่อิ่ม และขนุนแผ่นทอด เป็นต้น (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2546) ซึ่งรัฐบาลส่งเสริมให้มีการปลูกและแปรรูปขนุนในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกจำหน่ายต่างประเทศเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในเขตภาคตะวันออกเป็นแหล่งปลูกและแปรรูปผลิตภัณฑ์จากขนุนที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา ระยอง ปราจีนบุรี จันทบุรี และตราด ส่งผลให้ผลผลิตขนุนรวมทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2549-2550 สูงถึงประมาณ 130,668 -132,874 ตันต่อปี โดยพบว่าเมล็ดขนุนซึ่งเป็นผลพลอยได้

จากการแปรรูปและบริโภคขนุน มีปริมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลขนุน เมื่อคิดจากผลผลิตทั้งประเทศอาจมีปริมาณเมล็ดขนุนสูงถึงประมาณ 19,600-19,931 ตันต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

เนื่องจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากขนุนทำให้มีเมล็ดขนุนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก แต่การใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุนยังมีน้อย ส่วนใหญ่นิยมนำมาต้มเพื่อรับประทานเป็นอาหารว่างในครัวเรือนเท่านั้น ดังนั้นอาจมีการนำเมล็ดขนุนมาผลิตเป็นแป้งซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 10-12 เปอร์เซ็นต์ (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2546; พิทักษ์ ไชยแสง, 2547) เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดการสูญเสียผลผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตามสมบัติการนำไปใช้ของแป้งดิบจากเมล็ดขนุนอาจไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน โดยจากการศึกษาของ วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) พบว่าผู้บริโภคยังคงรู้สึกถึงความเป็นแป้งที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่นและแข็ง ดังนั้นจึงอาจมีการดัดแปลงสมบัติบางประการของแป้งดิบจากเมล็ดขนุนเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ช่วยลดความรู้สึกเป็นแป้ง และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น โดยการทำให้แป้งเมล็ดขนุนเกิดเจลาทิไนซ์มากขึ้น หรือการทำแป้งพรีเจลาทิไนซ์ ทั้งนี้สามารถทำได้โดยการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถทำได้ง่าย มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน (รุ่งฤดี สกุลณา, 2547) และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบในระดับอุตสาหกรรม (Villagran, Li, Yang, Chang, & Evans, 2004) ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยการใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเป็นวัตถุดิบหลัก จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้แก่ผู้บริโภค อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดขนุน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการบริโภคและแปรรูปขนุน เนื่องจากในปัจจุบันการนำแป้งเมล็ดขนุนไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารยังไม่แพร่หลายมากนัก การศึกษาวิจัยนี้จึงน่าจะเป็นการช่วยเพิ่มฐานข้อมูลของแป้งเมล็ดขนุนและเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ
2. เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

3. เพื่อศึกษาภาวะในการอบที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

4. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

สมมติฐานของการวิจัย

1. วิธีเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

2. สูตรที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

3. ภาวะในการอบที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีเตรียมแป้งเมล็ดขนุนในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบโดยวิธีพรีเจลาทิไนซ์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

2. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนตามแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design)

3. ศึกษาภาวะการอบที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีอบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และวิธีอบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน

4. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ รวมถึงค่าพลังงาน ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจและขยายการใช้ประโยชน์ของเมล็ดขนุนเหลือทิ้งจากการบริโภคและแปรรูปขนุน

2. เพิ่มทางเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยวให้แก่ผู้บริโภค

3. ทราบถึงสูตร และกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสม

4. ทราบข้อมูลเกี่ยวกับการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมล็ดขนุน

เมล็ดขนุนเป็นส่วนที่ได้มาจากผลขนุน โดยขนุน (Jackfruit) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus heterophyllus* Lam. อยู่ในวงศ์ Moraceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ลำต้นสูง 8-15 เมตร มียางสีขาวทั้งต้น ผลมีลักษณะกลมและยาว เนื้อหุ้มเมล็ดสีเหลือง เมื่อสุกจะมีกลิ่นหอม (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2534) ขนุนเป็นไม้ผลชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในประเทศไทย เนื่องจากปลูกได้ง่าย ทนทานต่อโรคและแมลง สำหรับพื้นที่ปลูกขนุนที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา ระยอง จันทบุรี สระแก้ว และตราด โดยขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ เป็นขนุนพันธุ์ที่นิยมปลูกในภาคตะวันออก มีแหล่งกำเนิดจากอำเภอแกลง จังหวัดระยอง และได้ขยายการปลูกไปยังจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐมีจุดเด่นคือ ให้ผลผลิตเร็ว มีเปอร์เซ็นต์เนื้อมาก เนื้อแข็ง เก็บไว้ได้นาน รสหวาน และที่สำคัญคือให้ผลผลิตตลอดปี ลักษณะทรงต้นจะมีทรงพุ่มสูงโปร่ง ใบมีขนาดใหญ่ กลม ปลายใบมน สีเขียวเข้ม เห็นเส้นใบชัด ลูกมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่ละลูกมีน้ำหนักประมาณ 15-18 กิโลกรัม หนามมีขนาดใหญ่ ปลายหนามเรียบ มีสีเขียว บางครั้งก็มีสีน้ำตาลที่หนาม เปลือกบาง ยวงมีรูปร่างกลมรีค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื้อหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร มีสีเหลือง รสหวานปานกลาง วัดความหวานได้ 18 องศาบริกซ์ เนื้อแน่น เมล็ดมีขนาดเล็ก มีซังน้อย ไส้กลางใหญ่ และมีปริมาณเนื้อมาก คือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผลขนุน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) เนื่องจากขนุนเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง สามารถบริโภคโดยตรงในรูปของเนื้อยวงสด หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในระดับอุตสาหกรรม เช่น ขนุนอบแห้ง ขนุนในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ขนุนแผ่นทอด เป็นต้น ส่งผลให้มีเมล็ดขนุนเหลือทิ้งจากการแปรรูปเป็นจำนวนมาก โดยเมล็ดขนุนมีน้ำหนักเป็น 8-15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผล ทั้งนี้เมล็ดขนุนมีคุณค่าทางโภชนาการไม่น้อยกว่าส่วนของเนื้อยวงสด จึงมีผู้สนใจนำไปใช้ประโยชน์โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เมล็ดขนุนแช่อิ่มเคลือบน้ำเชื่อม และแป้งเมล็ดขนุน เป็นต้น (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2546) โดยปกติขนุน 1 ผล จะประกอบด้วยเมล็ดตั้งแต่ 100-500 เมล็ด (Morton, 1987) ซึ่งเมล็ดขนุนประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat) แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ เยื่อชั้นนอก เป็นเยื่อสีขาวครีมหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของเมล็ด สามารถลอกได้ง่ายโดยนำมาแช่น้ำแล้วถูและลอกออก และเยื่อชั้นใน เป็นเยื่อสีน้ำตาลติดแน่นอยู่กับเนื้อเมล็ดจะลอกออกได้ยาก การแช่เมล็ดขนุนดิบใน

สารละลายด่างสามารถช่วยลอกเยื่อชั้นในออกจากเมล็ดได้ง่ายขึ้น (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2546) ส่วนของเนื้อเมล็ด (Cotyledon) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนจะแตกต่างกันไปขึ้นกับสายพันธุ์ และความแก่อ่อนของเมล็ดขนุน (Kumar, Singh, Abidi, Upadhyay, & Singh, 1988; Rahman, Nahar, Mian, & Mosihuzzaman, 1999) คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดขนุนแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดขนุนน้ำหนัก 100 กรัม (เตโชดม ภัทรศัย, 2543; กรมอนามัย, 2547)

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	
	เตโชดม ภัทรศัย (2543)	กรมอนามัย (2547)
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	146.0	153.0
ความชื้น (กรัม)	60.7	60.7
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	34.8	32.2
โปรตีน (กรัม)	5.0	5.5
ไขมัน (กรัม)	0.2	0.2
เส้นใย (กรัม)	1.6	1.6
เถ้า (กรัม)	1.4	1.4
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	73.0	105.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	50.0	-
เหล็ก (มิลลิกรัม)	2.9	2.9
วิตามินบีหนึ่ง (มิลลิกรัม)	1.7	1.7
ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	3.2	3.2
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	24.0	24.0
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	22.0	-

การเตรียมแป้งจากเมล็ดขนุน

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2546) เตรียมแป้งจากเมล็ดขนุนโดยการแช่เมล็ดขนุนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 นาที จากนั้นนำมาลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออกออก ล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำไปปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์

ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทิ้งไว้ให้แป้งตกตะกอน เทสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ออกแล้วล้างตะกอนด้วยน้ำหลายครั้ง จากนั้นล้างด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ สองครั้ง เทแอลกอฮอล์ทิ้ง นำแป้งที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนจนแห้ง บรรจุในภาชนะที่สะอาดและปิดสนิท

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ (2546) เตรียมแป้งเมล็ดขนุนโดยนำเมล็ดขนุนมาล้างทำความสะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ ลอกเยื่อสีขาวครีมที่หุ้มชั้นนอกออก จากนั้นลอกเยื่อสีน้ำตาลออกโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที แล้วรีบนำขึ้นแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที จากนั้นนำไปล้างน้ำและถูเยื่อสีน้ำตาลออก ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้งจนหมดคราบลื่น จะได้ส่วนเนื้อเมล็ด จากนั้นนำเมล็ดขนุนไปผลิตเป็นแป้งซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การผลิตแป้งโดยวิธีโม่เปียก โดยนำเมล็ดขนุนมาปั่นกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 นาน 2 นาที กรองกากออกด้วยผ้าขาวบาง ส่วนที่เป็นน้ำ ทิ้งให้ตกตะกอนแล้วรินส่วนใสทิ้ง นำส่วนที่ตกตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นต่ำกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ นำแป้งเมล็ดขนุนไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้แป้งเมล็ดขนุนตามต้องการ วิธีที่ 2 การผลิตแป้งโดยวิธีโม่แห้ง โดยนำเมล็ดขนุนไปบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม (Blender) ด้วยความเร็วปานกลาง นาน 2 นาที และนำไปอบแห้งแล้วบดเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 พบว่าการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุนได้ผลผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด

อรอุมา คงเกลี้ยง และอุมากร พิมพ์โพธิ์ (2544) ศึกษาวิธีการลอกเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดขนุน 4 วิธี คือ วิธีแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วิธีแช่ด่างร้อน (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วิธีแช่ด่างที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 5 และ 10 นาที และวิธีการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส จากนั้นผลิตแป้งเมล็ดขนุนโดยนำเมล็ดขนุนที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วมาหั่นเป็นแผ่นบาง ๆ ให้มีความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แผ่ลงบนถาดอะลูมิเนียม นำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำไปบดหยาบและบดละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช จะได้เป็นแป้งเมล็ดขนุน พบว่าวิธีแช่แข็งเป็นวิธีปอกเปลือกที่ง่ายที่สุด และได้ผลผลิตสูงสุด คือ 97.19 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด

Tulyathan, Tananuwong, Songjinda, and Jaiboon (2002) เตรียมแป้งเมล็ดขนุนจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ โดยนำเมล็ดขนุน 3 กิโลกรัม มาล้างให้สะอาด ลอกเยื่อสีขาวครีมที่หุ้มชั้นนอกออก แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที เพื่อลอก

เยื่อสีน้ำตาลออก นำส่วนเนื้อเมล็ดมาหั่นให้เป็นแผ่นบาง นำไปอบในตู้อบแบบถาดที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นน้อยกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงบดในเครื่องบดแบบ Pin Mill ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส) พบว่าการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจได้ผลผลิต 36.4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของแป้งเมล็ดขนุน

สุนิสา สุทธิวงศ์ (2547) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ (Pregelatinized Jackfruit Seed Flour) พบว่ามีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เส้นใย คาร์โบไฮเดรต และอะไมโลส เท่ากับ 8.50 0.28 11.60 2.90 3.59 73.13 และ 31.19 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานเท่ากับ 341.44 กิโลแคลอรี ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ พบว่าแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เท่ากับ 81 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการดูดกลืนแสง 620 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่าค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์มีค่าเท่ากับ 86.8 2.9 และ 15.1 ตามลำดับ

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ (2546) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุน พบว่าในขั้นตอนการเตรียมแป้ง การแช่เมล็ดขนุนดิบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยลอกเยื่อสีน้ำตาลออกจากเมล็ดขนุนได้ง่ายขึ้น แต่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) และเวลาในการแช่ (7-60 นาที) จะมีผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน โดยการแช่เมล็ดขนุนดิบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที จะทำให้ได้แป้งที่มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม คือแป้งที่ได้จากเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่มีสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อได้รับความร้อน ได้แก่ ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้ายเมื่อทำให้เย็นลงที่ 50 องศาเซลเซียส ค่า Breakdown และ Setback Viscosity สูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งวิธีในการผลิตแป้งเมล็ดขนุนที่แตกต่างกัน คือ วิธีโม่แห้ง และวิธีโม่เปียก มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนแป้งจากเมล็ดขนุนที่ผลิตด้วยวิธีโม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่าวิธีโม่เปียก แต่แป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตด้วยวิธีโม่แห้งมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแป้งที่ผลิตด้วยวิธีโม่เปียก โดยแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตด้วยวิธีโม่แห้ง และวิธีโม่เปียกมีปริมาณโปรตีน 11.83 และ 9.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ปริมาณไขมัน 2.19 และ 1.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณอะไมโลส 36.67 และ 39.23 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ พบว่าเม็ดแป้งจากเมล็ดขนุนมีขนาดเล็กระหว่าง 3-25 ไมโครเมตร ลักษณะค่อนข้างกลม (Round Shape)

Singh, Kumar, and Singh (1991) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติบางประการของแป้งเมล็ดขนุน พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงและไขมันต่ำ มีปริมาณโปรตีนปานกลาง (16.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ประกอบด้วยอัลบูมิน (Albumin) และโกลบูลิน (Globulin) แป้งเมล็ดขนุนมีความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันเท่ากับ 141 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion) เท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับแป้งถั่วเหลือง

Tulyathan et al. (2002) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical Properties) ของแป้งเมล็ดขนุน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง (82.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณโปรตีนปานกลาง (11.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณไขมันต่ำ (0.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) แสดงดังตารางที่ 2-2 นอกจากนี้แป้งเมล็ดขนุนมีความสามารถในการอุ้มน้ำ 205 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 93 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน (พิทักษ์ ไชยแสง, 2547; Singh et al., 1991; Tulyathan et al., 2002)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)		
	พิทักษ์ ไชยแสง (2547)[1]	Singh et al. (1991)[2]	Tulyathan et al. (2002)[3]
โปรตีน	12.6[4]	17.2[5]	11.2[5]
ไขมัน	0.6	2.2	0.9
เถ้า	3.2	3.6	3.9
เส้นใย	0.9	3.0	1.7
คาร์โบไฮเดรต	82.6	74.0	82.3
อะไมโลส	27.3	-	32.1

หมายเหตุ [1] หมายถึง เมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ

[2] หมายถึง เมล็ดขนุนพันธุ์พื้นเมืองของประเทศอินเดีย

[3] หมายถึง เมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ

[4] หมายถึง Conversion Factor = 6.25

[5] หมายถึง Conversion Factor = 5.70

แนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากการที่แป้งเมล็ดขนุนมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงได้มีการศึกษาวิจัยการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบต่าง ๆ เช่น คุกกี้ ขนมปัง และเปลือกพาย นอกจากนี้ยังมีการใช้แป้งเมล็ดขนุนในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ เช่น พาสต้า เป็นต้น

กนกวรรณ สิทธิ์ธนังกูล, ศศิทิพย์ พงษ์รูป และสิโนพาร ธนิตานนท์ (2542) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 10 15 20 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง ส่วนศิริพร ฉันท์สำราญ (2542) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เช่นกัน โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง โดยคุกกี้ที่ได้มีคะแนนการยอมรับทางด้านความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม)

ขนิษฐา ธนานุวงศ์ และประภา ทรงจินดา (2539) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังได้ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้นขนมปังจะมีปริมาตรจำเพาะลดลง เนื่องจากแป้งเมล็ดขนุนมีองค์ประกอบของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (Proteolytic Enzyme) ที่สามารถย่อยสลายโปรตีนกลูเตน ทำให้โครงสร้างของโดไม่แข็งแรงส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ได้ลดลง

รุ่งฤดี สกุลณา (2547) ศึกษาการใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนด์วิช โดยการนำขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐาน (ใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง) มาปรับอัตราส่วนของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนต่อแป้งสาลี เป็น 4 ระดับ คือ 10:90 20:80 30:70 และ 40:60 พบว่า สูตรที่ใช้อัตราส่วนของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนต่อแป้งสาลี เป็น 10:90 ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด และเมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐาน พบว่า ขนมปังแซนด์วิชสูตรที่ใช้สัดส่วนของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ต่อแป้งสาลี เป็น 10:90 มีปริมาณโปรตีน 15.65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐานที่มีปริมาณโปรตีน 11.24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณไขมัน 0.71 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งต่ำกว่าปริมาณไขมันของขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐาน (1.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

ศิริพร ผ่องใส (2544) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพาย โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 25 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพายได้ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งเปลือกพายที่ได้มีค่าสี ความกรอบ และการพองตัวใกล้เคียงกับเปลือกพายจากแป้งสาลีมากที่สุด จากนั้นทำการศึกษาต่อโดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 10 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่า สามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพายได้ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง

พิทักษ์ ไชยแสง (2547) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนเซโมลินาในผลิตภัณฑ์พาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์พาสต้าได้ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง โดยพาสต้าที่ได้มีคะแนนการยอมรับทางด้านความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าจากเซโมลินา (ตัวอย่างควบคุม) โดยใช้เวลาในการต้ม 10.50 นาที มีน้ำหนักที่ได้หลังจากการต้มเท่ากับ 155.68 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่าง

การต้ม 15.26 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานต่อการดึงขาด ความแน่นเนื้อ และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่า 0.18 นิวตัน 0.18 นิวตัน และ 0.20 นิวตันวินาที ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว หมายถึง อาหารที่ใช้รับประทานระหว่างมื้ออาหารหลัก ระหว่างช่วงพักของการทำงาน ช่วงระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ หรือรับประทานเมื่อต้องการ ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นอาหารให้พลังงานสูงเนื่องจากมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตอยู่สูง เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (Donna, 2006) ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความหลากหลายมากขึ้นเป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภค ทั้งในด้านรูปร่าง เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก วงแหวน และรูปร่างเฉพาะ เช่น สามเหลี่ยม รูปสัตว์ต่าง ๆ ด้านรส เช่น รสปาปริก้า รสเนยแข็ง รสพิซซ่า รสซาวครีมและหัวหอม รสไก่ และด้านเนื้อสัมผัส เช่น กรอบนุ่ม กรอบแข็ง และมีความพองตัวแตกต่างกัน เป็นต้น ขนมขบเคี้ยวเหล่านี้มาจากวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตต่าง ๆ กัน

ขนมขบเคี้ยวโดยทั่วไปมักมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ มีความกรอบในลักษณะกรอบนุ่ม (Crispy) หรือกรอบแข็ง (Crunchy) มีความพองตัว (Puffing or Expansion) และมีความหนาแน่นต่ำ (Low Density) ซึ่งการพองตัวจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการพองตัวขึ้นกับ 2 ปัจจัย คือ ความดัน และความต้านทาน ความดันเกิดจากการให้พลังงานเข้าไปในอาหาร เพื่อให้น้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัว ดันให้เนื้ออาหารเป็นโพรง หรือ รูพรุน ส่งผลให้ความชื้นออกจากเนื้ออาหารได้ ในขณะเดียวกันก็จะเกิดแรงต้านหรือแรงยึดไม่ให้น้ำขยายตัวหรือออกจากเนื้ออาหาร ถ้าใช้พลังงานพอเหมาะจะทำให้ความดันเท่ากับความต้านทาน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร ทำให้มีความชื้นที่เหลืออยู่เพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ และมีโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่ดีตามไปด้วย แต่ถ้าความดันน้อยกว่าความต้านทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสจะไม่ดี มีรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่ไม่เป็นรูพรุนก็จะแห้ง นอกจากนี้อัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกทิน ยังมีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ อะไมโลเพกทินจะช่วยในการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ส่วนอะไมโลสถ้ามีมากจะลดการพองตัวหรือทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะลดลง (Charles, 1969) วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวลักษณะนี้มักเป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ได้แก่ ธัญชาติ (Cereal) เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า พืชหัว เช่น มันฝรั่ง เผือก มันเทศ มันสำปะหลัง และแป้งชนิดต่าง ๆ โดยมีส่วนประกอบอื่น ๆ เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ น้ำมัน น้ำ และสารปรุงแต่งกลิ่นรสต่าง ๆ ได้แก่ น้ำตาล เกลือ และสารให้กลิ่นรส ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ที่แตกต่างกันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงชนิด หรืออัตราส่วนของส่วนผสม

ในสูตร เช่น การใช้ปลายข้าวทดแทนแป้งข้าวโพด อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเจ้า ปริมาณน้ำตาลในส่วนผสม เป็นต้น (อภิญญา เจริญกูล, 2541)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสามารถแบ่งตามลำดับการนำออกสู่ความนิยมได้ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่หนึ่ง (First Generation Snack) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่จัดอยู่ในประเภทนี้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ได้แก่ ข้าวโพดอบกรอบ (Popcorn) มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ (Potato Chip) เป็นต้น ขนมขบเคี้ยวประเภทถั่วต่าง ๆ เช่น ถั่วลิสงทอด กล้วยทอด ข้าวเกรียบ เป็นต้น (Reilly & Man, 1989)

2. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สอง (Second Generation Snack) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่จัดอยู่ในประเภทนี้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการนำกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion Cooking) มาใช้ ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีลักษณะสุกพองทันทีที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) เรียกว่า Direct Expanded Snacks ลักษณะโดยทั่วไปของขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สอง มักจะมีลักษณะเบา มีความหนาแน่น (Bulk Density) ต่ำ และมักปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยเครื่องปรุงรส (Seasoning) ซึ่งประกอบด้วยน้ำมัน เกลือ และสารปรุงแต่งกลิ่นรส (Flavoring) โดยวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็น Direct Expanded Snack ได้ดีเช่นเดียวกับแป้งข้าวโพดคือ แป้งข้าวเจ้า เพราะให้ลักษณะการสุกพองที่ค่อนข้างดี โดยอาจเลือกใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแป้งข้าวโพดในอัตราส่วนต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวเจ้าอาจไม่มีกลิ่นรสเฉพาะตัวดังเช่นแป้งข้าวโพด แต่แป้งข้าวเจ้าให้กลิ่นรสที่อ่อน จึงสามารถนำมาปรุงแต่งกลิ่นรสได้ตามต้องการโดยอาจนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปคลุกเคล้ากับสารปรุงรสในภายหลัง หรืออาจเติมสารปรุงแต่งกลิ่นรสในระหว่างกระบวนการแปรรูป (Blendford, 1982; Gate, Loadge, Cammarn, & Wong, 1992)

3. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สาม (Third Generation Snack) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทนี้ไม่ได้สุกพองทันทีที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เรียกว่า Indirect Expanded Snacks จึงแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สอง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันตามไปด้วย ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีลักษณะกรอบ มีผิวค่อนข้างเรียบ และมีรูปร่างแตกต่างกัน นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สามอีกประเภทหนึ่ง เรียกว่า Fabricated Chip Product (FCP) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำเลียนแบบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ (Chip Product) ลักษณะผลิตภัณฑ์จะถูกขึ้นรูปและตัดให้มีลักษณะคล้ายกับชิ้นมันฝรั่งแผ่น มีความหนาประมาณ 0.8-1.1 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีองค์ประกอบของแป้งที่ยังไม่สุกมากกว่า และยังมีความชื้นสูงต้องนำไปทำให้สุกและลดความชื้นโดยการนำไปทอดหรืออบ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น มันฝรั่งแผ่นกรอบขึ้นรูป (Fabricated Potato Chip) และข้าวโพดแผ่นกรอบ (Corn Chip) เป็นต้น (อภิญญา เจริญกูล, 2541)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบมีหลายชนิด ได้แก่ มันฝรั่ง มันเทศ กล้วย ทุเรียน ขนุน หัวบีท หรือแป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เป็นต้น อีกทั้งยังมีสูตรและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน (อภิญญา เจริญกูล, 2541) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบที่ทำจากวัตถุดิบสด

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบที่ทำจากวัตถุดิบสด เป็นการแปรรูปผักและผลไม้อีกวิธีการหนึ่งในฤดูกาลที่มีผลผลิตทางการเกษตรออกมาสู่ตลาดค่อนข้างมาก และผู้ผลิตต้องการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตเหล่านั้น สำหรับตลาดของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากผักและผลไม้มีความหลากหลายเช่นเดียวกับตลาดของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยทั่วไป แต่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากผักและผลไม้จะทำให้ภาพลักษณ์ของการเป็นของว่างมีประโยชน์มากกว่า เนื่องจากเป็นการผลิตจากวัตถุดิบที่ไม่ผสมแป้ง ทำให้ผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพให้ความสำคัญในการเลือกซื้อมากขึ้น

ทั้งนี้ผักและผลไม้ที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบมีหลายชนิด เช่น ทุเรียน กล้วย ขนุน มะละกอ มันเทศ เผือก มันฝรั่ง ฟักทอง แครอท หัวบีท และแตงกวา เป็นต้น แต่ที่ได้รับความนิยมและมีการวางจำหน่ายโดยทั่วไป ได้แก่ ทุเรียน กล้วย เผือก มัน และมันฝรั่ง โดยการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากวัตถุดิบสดดังกล่าว มีขั้นตอนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น การทอด และการอบ เป็นต้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2550)

2. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป ได้จากการนำแป้งมาผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ เช่น น้ำ สตาร์ชดัดแปร อิมัลซิไฟเออร์ และกัม จนเป็นโด รีดเป็นแผ่น แล้วตัดให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ จากนั้นจึงทำให้สุกโดยการทอด หรืออบ (Fazzolare, Szwerc, & McFeaters, 1997)

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปมีดังนี้

(1) แป้ง

แป้งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และมันเทศ เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาบดโม่หรือบดจนละเอียด ดังนั้นส่วนประกอบของแป้งจึงประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539) โดยในสูตร

ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบขึ้นรูปของ Villagran et al. (2004) กำหนดให้มีปริมาณแป้งมันฝรั่งอยู่ในช่วง 25 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง นอกจากแป้งที่ได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรแล้วยังสามารถเพิ่มแป้งดัดแปร (Modified Starch) ในช่วง 0 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง ในสูตรการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบเพื่อช่วยให้ส่วนผสมรวมตัวกันได้ดีขึ้น และช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น เพิ่มความกรอบให้กับผลิตภัณฑ์ แป้งดัดแปรที่ใช้ ได้แก่

- แป้งพรีเจลาทิไนซ์ (Pregelatinized Starch)

แป้งพรีเจลาทิไนซ์ หรือแป้งพรีเจล ทางการค้าเรียกว่า อัลฟา สตาร์ช (Alpha Starch) การผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์สามารถใช้ได้ทั้งแป้งดิบ และแป้งดัดแปรทางเคมีชนิดต่าง ๆ โดยป้อนแป้งในรูปสารแขวนลอยหรือแป้งเปียกลงในเครื่องทำแห้ง ซึ่งในสารแขวนลอยจะมีปริมาณของแข็งได้สูง 42-44 เปอร์เซ็นต์ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) นอกจากนี้มีการเติมสารช่วยการเกิดเจลาทิไนซ์ (Gelatinization Aid) เช่น เกลือ หรือ เบส และสารที่ช่วยป้องกันไม่ให้แป้งติดกับลูกกลิ้ง (Surface Active Agent) สำหรับการเติมเกลือ เช่น โซเดียมฟอสเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต ช่วยป้องกันการเกาะเป็นก้อน ทั้งนี้การป้อนแป้งสู่เครื่องทำแห้ง ต้องมีการควบคุมให้แป้งมีความหนาสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เครื่องทำแห้งที่ใช้ในการผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์มีหลายชนิด ได้แก่ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ และเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งเครื่องทำแห้งแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมต่อวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกันออกไป โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะเป็นวิธีที่เหมาะสมและนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีอัตราการผลิตสูง ส่วนการใช้เครื่องมืออัดแรงสูงเช่น เอกซ์ทรูเดอร์ มีอัตราการผลิตต่ำ แต่มีข้อได้เปรียบในเรื่องของความสะอาด และการควบคุมคุณภาพ

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีทั้งแบบเดี่ยว (Single) และแบบคู่ (Double) โดยต้องมีการปรับอุณหภูมิของผิวลูกกลิ้งและอัตราการหมุน ให้สอดคล้องกับปริมาณความชื้นและความสามารถในการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งแต่ละชนิด สำหรับเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่จะต้องควบคุมระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้เท่ากันตลอดแนวความยาวของลูกกลิ้ง และให้สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในลูกกลิ้ง อัตราการหมุน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของโลหะที่ใช้ทำลูกกลิ้ง

สำหรับการผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ทำได้โดยนำน้ำแป้งดิบที่มีความเข้มข้นประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งเข้าเครื่องทำแห้ง ความร้อนจากผิวหน้าลูกกลิ้งที่ได้จากไอน้ำ จะทำให้น้ำแป้งดิบเกิดการเจลาทิไนซ์ขึ้น และขณะที่ลูกกลิ้งหมุนไปจะมีการระเหยน้ำออกไปพร้อมกัน แป้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางฉาบบนผิวหน้าของลูกกลิ้ง และถูกขูดออกโดยใบมีด หลังจากนั้นนำไปอบแห้งและบดให้ละเอียด ทั้งนี้แผ่นแป้งที่ฉาบ

บนผิวหน้าลูกกลิ้งที่บางเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ และถ้าแผ่นแป้งหนาเกินไป จะทำให้ใบมีดทำงานไม่สะดวก อย่างไรก็ตามแป้งบางชนิดที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เมื่อนำมาผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จะทำให้เกิดกลิ่นหืน (Rancidity) เนื่องมาจากเม็ดแป้งถูกทำลาย สามารถแก้ไขกลิ่นหืนนี้โดยการเติมเกลือออร์โทฟอสเฟต หรือทำการสกัดไขมันด้วยเอทานอลและแอมโมเนียเพื่อปรับปรุงกลิ่นรสของแป้ง

แป้งพรีเจลาทิไนซ์สามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้อง และสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่สามารถละลายและให้ความหนืดได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้ความร้อน เช่น ขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี ซอส ไส้พาย ครีมหน้าขนมต่าง ๆ ส่วนผสมของซุปผง ใช้เป็นสารยึดเกาะในอาหารประเภทเนื้อเพื่อช่วยรักษาความชุ่มชื้น และอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเพื่อช่วยการดูดซับน้ำและเก็บฟองอากาศได้ดีขึ้น ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้นและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวสำหรับส่วนผสมของอาหารแช่แข็ง

- แป้งครอสลิง (Crosslink Starch) เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลของแป้ง การเติมแป้งครอสลิงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโพรงอากาศละเอียดและสม่ำเสมอกว่าการเติมแป้งดิบ

- แป้งที่ได้จากการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์หรือกรด (Hydrolyzed Starch) เป็นแป้งดัดแปรโดยใช้เอนไซม์หรือกรด เพื่อย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็ก เช่น มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ไม่มีกลิ่น เมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจะช่วยปรับปรุงความกรอบของผลิตภัณฑ์ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

(2) น้ำ

น้ำเป็นส่วนผสมที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว มีผลต่อการรวมตัวกันของส่วนผสมให้เข้ากันเป็นโดและมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเกิดเจลและการพองตัวของแป้ง ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะเกิดจากน้ำที่เป็นส่วนผสมและน้ำที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบ ปริมาณน้ำที่ใช้มีผลต่อการแตกตัวของแป้ง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้น้ำมากเกินไปเม็ดแป้งจะแตกตัวมากทำให้เจลที่ได้เหนียว แต่ในทางกลับกันถ้าใช้น้ำปริมาณน้อยเกินไปแป้งจะพองตัวน้อยและไม่สุก มีผลให้ไม่เกิดเจลหรือเกิดเพียงเล็กน้อย โดยแป้งแต่ละชนิดมีความสามารถในการพองตัวและการดูดซับน้ำแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใส่ส่วนผสมอื่นที่มีความชื้นสูงลงไป ปริมาณน้ำที่ใช้จะต้องลดลง ซึ่งจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของ

ส่วนผสมนั้น นอกจากนี้น้ำในอาหารจะเป็นตัวทำละลายองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาหาร (พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง, 2530) โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบอยู่ในช่วง 15 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด (Villagran et al., 2004)

(3) ไขมัน

น้ำมันและไขมันประกอบด้วยกรดไขมันกับกลีเซอรอล ซึ่งจะแตกต่างกันที่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ โดยน้ำมันจะหมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนไขมันหมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในน้ำมันและไขมัน ประกอบด้วยกรดไขมัน 2 ชนิด คือ กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ระหว่าง 4-26 โดยไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวตั้งแต่คาร์บอน 12 อะตอมหรือมากกว่าจะมีลักษณะที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นจำนวนมาก จะหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539) ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบสามารถใช้ไขมันเป็นส่วนผสมหรืออาจใช้สำหรับทอดก็ได้ ทั้งนี้ Villagran et al. (2004) เตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปโดยใช้น้ำมันในการทอดผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้ว และกำหนดให้มีปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 20 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์

(4) กัม

กัมที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ได้แก่ คาราจีแนน กัวร์กัม แซนแทนกัม กัมอาราบิค กัมทรากาแคนท์ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เช่น ช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนียนละเอียดสม่ำเสมอ มีการจับตัวกันดีขึ้น เพิ่มความหนืด เป็นตัวช่วยในการเคลือบวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทประเภทแผ่นกรอบและถั่วต่าง ๆ ให้สามารถเคลือบติดกับผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539)

(5) อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ช่วยให้อิมัลชันคงตัว เช่น ช่วยให้การกระจายตัวของหยดน้ำมันเล็ก ๆ ในน้ำคงตัว เนื่องจากโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์มีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน อิมัลซิไฟเออร์บางชนิดสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแป้งได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอะไมโลส ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ จะมีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวประเภท Extruded Snack (ศิวพร ศิวเวชช, 2535) ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ตั้งแต่ 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะช่วยในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบในขั้นตอนการรีดโด โดยลดการเกาะติดผลิตภัณฑ์กับผิวลูกกลิ้งที่ใช้รีดผลิตภัณฑ์ให้เป็นแผ่น ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ ได้แก่ เลซิทิน ซึ่งเป็นฟอสโฟลิพิดชนิดหนึ่ง

ที่พบตามธรรมชาติในพืชและสัตว์หลายชนิด แต่พบมากที่สุดในถั่วเหลือง เลซิทินเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่มีประสิทธิภาพดี และมีราคาถูก จึงเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไป นอกจากนี้มีการใช้โมโนกลีเซอร์ไรด์ และไดกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์อีกชนิดหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์ชนิดนี้จะไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ อะไมโลสในแป้ง นอกจากนี้ยังมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่น ๆ อีก ได้แก่ Diacetyl Tartaric Acid Esters และ Polyglycerol (Villagran et al., 2004)

(6) วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส

วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว มีทั้งวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสจากธรรมชาติและวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ได้จากการสังเคราะห์เพื่อเพิ่มความน่าบริโภคให้กับผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เครื่องเทศต่าง ๆ เช่น กระเทียม หอม พริก เป็นต้น วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้กลิ่นรสอาหารคาว (Savory Flavor) วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้กลิ่นรสอาหารหวาน (Sweet Flavor) และวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้รสเค็ม โดยใช้เกลือให้รสเค็มแก่ผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมขบเคี้ยวประเภทมันฝรั่งทอด ข้าวโพดคั่ว ถั่วทอดชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้กลิ่นรสอาหารคาวเป็นวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เช่น กลิ่นรสบาร์บีคิว กลิ่นรสเบคอน ลักษณะของกลิ่นรสในกลุ่มนี้อาจเตรียมให้อยู่ในรูปผง หรือเป็นเกล็ด หรือเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักอยู่ในรูปที่มีการผสมกับเครื่องเทศชนิดต่าง ๆ หรือกลิ่นรสอื่น ๆ รวมถึงวัตถุเจือปนอาหารบางชนิด เช่น วัตถุกันหืนหรือวัตถุกันเสีย และสารป้องกันการรวมตัวเป็นก้อนเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บ สำหรับวิธีการใช้นั้นอาจใช้ผสมลงไปในผลิตภัณฑ์หรือใช้เคลือบที่ผิวของผลิตภัณฑ์หรืออาจผสมเกลือแล้วคลุกเคล้ากับผลิตภัณฑ์ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

(7) วิตามินและแร่ธาตุ

การเสริมวิตามินและแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์อาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มวิตามินและแร่ธาตุที่สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิต หรือเพื่อเพิ่มวิตามินและแร่ธาตุที่ไม่ได้มีอยู่ในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ตามธรรมชาติ

ผลิตภัณฑ์อาหารในปัจจุบันมีการเสริมวิตามินและแร่ธาตุเป็นจำนวนมาก วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของร่างกาย วิตามินบางส่วนไม่สามารถสังเคราะห์ได้ภายในร่างกาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร หรือ อาหารเสริม แร่ธาตุเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อร่างกายเป็นอย่างมากและขาดไม่ได้ เป็นส่วนประกอบของร่างกายและเนื้อเยื่อต่าง ๆ นอกจากนี้แร่ธาตุยังเป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญในการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ทางสรีระวิทยา ช่วยให้โครงสร้างของกระดูกแข็งแรง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของหัวใจ สมอง กล้ามเนื้อ และระบบประสาท (ศักดิ์ บวร, 2541)

สำหรับการเติมวิตามินในอาหารนั้น จะต้องมีการเตรียมให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม เพื่อให้มีการละลายหรือผสมเข้ากับอาหารได้ดี มีความคงตัวหรือไม่สลายตัวในระหว่างการใช้ ตัวอย่างเช่น วิตามินบีหนึ่ง หรือไทอะมีน (Thiamine) นั้นจะนิยมใช้ไทอะมีน โมโนไนเตรท (Thiamine Mononitate) ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เพราะจะดูดความชื้นน้อยกว่า และใช้ไทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ (Thiamine Hydrochloride) ในอาหารที่เป็นของเหลว เป็นต้น ส่วนวิตามินบีสอง หรือไรโบฟลาวิน (Riboflavin) จะใช้ในรูปของไรโบฟลาวิน 5-ฟอสเฟต (Riboflavin 5-Phosphate) เพราะจะละลายได้ดีและมีสีเหลืองเข้มกว่า (Vinas, Lopez, Balsalobre, & Cordoba, 2003) สำหรับไนอะซิน (Niacin) มักจะใช้ในรูปของกรดนิโคตินิก (Nicotinic Acid) หรือนิโคตินาไมด์ (Nicotinamide) ซึ่งเป็นรูปที่ค่อนข้างคงตัว วิตามินบีหก จะใช้ในรูปของไพริดอกซินไฮโดรคลอไรด์ (Pyridoxine Hydrochloride) ในขณะที่วิตามินบี 12 จะเตรียมในรูปไซยาโนโคบาลามีน (Cyanocobalamine) และโคบาลามีนเข้มข้น (Cobalamine Concentrate) ซึ่งคงตัวได้ดี (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

สำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปมีรายละเอียดขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. การเตรียมส่วนผสม (Dough Formulation)

ส่วนผสมที่สำคัญ คือ ส่วนผสมประเภทแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า เป็นต้น ใช้เป็นส่วนผสมหลักในปริมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ผสมกับน้ำเพื่อทำให้เกิดโด โดยปริมาณที่เหมาะสมของน้ำที่จะเติมลงในส่วนผสมอยู่ในช่วง 24-35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด

2. การเตรียมโด (Dough Preparation)

สามารถเตรียมได้หลายวิธี โดยทั่วไปเตรียมได้โดยการผสมส่วนผสมแห้งและน้ำลงในเครื่องผสม (Conventional Mixer) นวดให้เข้ากันจนเป็นโด หรือผสมส่วนผสมที่เป็นของเหลวและส่วนผสมแห้งแยกกันก่อน แล้วจึงนำมาผสมรวมกันอีกทีหนึ่งจนเป็นโด หรือใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผสมและขึ้นรูป ซึ่งโดที่ได้จะสามารถรีดเป็นแผ่นได้ดีหรือไม่นั้นขึ้นกับการยึดเกาะตัวกันของโดและความทนทานของโดต่อแรงเฉือนที่ใช้ในกระบวนการผลิต หากโดสามารถรีดเป็นแผ่นได้โดยไม่มีรอยแตกหรือฉีกขาดแสดงว่าโดนั้นมีการยึดเกาะตัวกันและมีความยืดหยุ่นที่ดี ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของโดที่รีดเป็นแผ่น เช่น สภาวะในการผสม การรีดโด และปริมาณอะไมโลส (Kerr, Ward, McWatter, & Resurrecion, 2001) นอกจากนี้การเติมสตาร์ชลงในเนื้อมันฝรั่งบด เช่น สตาร์ชข้าวเจ้า (Native Rice Starch) จะช่วยให้ส่วนผสมรวมตัวกันได้ดีขึ้นสามารถรีดโดเป็นแผ่นได้ง่าย (Beverly, Villagran, & Williamson, 2001)

3. การรีดให้เป็นแผ่น (Sheeting)

นำโดที่ได้มารีดให้เป็นแผ่นบาง โดยรีดผ่านเครื่องรีดแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกสองลูกที่หมุนสวนทางกัน เพื่อให้ได้แผ่นโดที่บางและเรียบ อาจมีการให้ความร้อนกับลูกกลิ้งที่รีดให้อยู่ในช่วงประมาณ 32-57 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้นควรให้ลูกกลิ้งทั้งสองลูกมีอุณหภูมิต่างกัน โดยให้ลูกกลิ้งที่อยู่ด้านหน้ามีอุณหภูมิต่ำกว่าลูกกลิ้งด้านหลัง ทั้งนี้ควรรีดโดให้มีความหนาอยู่ในช่วงประมาณ 1-2 มิลลิเมตร สำหรับการรีดแผ่นโดเพื่อเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบแบบแผ่นหยัก ควรรีดให้โดมีความหนา 1.9 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นโดที่รีดได้มาขึ้นรูปเป็นชิ้น โดยใช้พิมพ์กดหรือใช้อุปกรณ์ในการตัดที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีรูปร่างที่แตกต่างกัน เช่น รูปวงกลม วงรี สี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นต้น (Addesso et al., 1995)

4. การทำให้ผลิตภัณฑ์สุก (Cooking)

<u>การทอด (Frying)</u>

การทอดเป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร และวัตถุประสงค์รองคือ การถนอมอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ผิวหน้าของอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร (Duran, Pedreschi, Moyano, & Troncoso, 2007) ในกรณีที่เป็นการทอดชิ้นอาหารที่มีความหนาไม่มากนัก ความชื้นของอาหารภายหลังการทอดจะเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับอาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยการอัดผ่านเกลียวจะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง และรักษาคุณภาพได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์และภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม

เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าของอาหารจึงเริ่มแห้ง อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันและอุณหภูมิภายในอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายโอนความร้อน ส่วนค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร

เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อคาปิลลารีขนาดต่าง ๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากคาปิลลารีที่มีขนาดใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบาง ๆ ของน้ำมัน ความหนืด และความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลและความร้อน ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นภายในอาหารและในน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้นคล้ายกับในกรณีการทำแห้งด้วยลมร้อน ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการ

ทอดขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีทอด (แบบน้ำมันตื้น หรือน้ำมันท่วม) และความหนาของชิ้นอาหาร (Rani & Chauhan, 1995)

การคำนึงถึงปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์และความต้องการของผลิตภัณฑ์เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิในการทอด การทอดที่อุณหภูมิสูงจะช่วยลดระยะเวลาและเพิ่มอัตราการผลิต อย่างไรก็ตาม การใช้อุณหภูมิสูงจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด สีและกลิ่นของน้ำมัน ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อยขึ้น จึงเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำมัน การสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ในข้อที่สองเกิดจากการเดือดของอาหารอย่างรุนแรงที่อุณหภูมิสูงและการสูญเสียน้ำมันที่ติดขึ้นมากับอาหาร นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงทำให้น้ำมันเกิดการเผาไหม้กลายเป็นอะโครเลน (Acrolein) ซึ่งเป็นควันสีน้ำเงินบนน้ำมันและทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ (Pedreschi, Moyano, Kaack, & Granby, 2005) อย่างไรก็ตามนอกจากการทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบสุกโดยการทอดแล้ว ยังสามารถทำให้สุกโดยการอบ (Baking)

<u>การอบ (Baking)</u>

การอบ นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งและผลไม้ โดยการอบผลิตภัณฑ์อาหารในเตาอบ ความร้อนจะแผ่ออกจากส่วนที่ให้ความร้อนของเตาอบ ทำให้อากาศร้อนช่วยพาความร้อนไปยังอาหารและมีการหมุนเวียนของอากาศร้อนเกิดขึ้นภายในเตาอบ เมื่อถาดวางอาหารได้รับความร้อนก็จะนำความร้อนไปยังอาหารด้วย หากอาหารมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำจะทำให้มีการถ่ายโอนความร้อนในอัตราที่ต่ำตามไปด้วย ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาอบนานขึ้น ทั้งนี้ขนาดของชิ้นอาหารจะเป็นตัวกำหนดระยะทางในนำการความร้อนไปยังจุดกึ่งกลางของชิ้นอาหาร

เมื่อนำอาหารเข้าไปในเตาอบในช่วงแรกความชื้นที่ผิวนอกของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอน้ำและถูกพาไปด้วยอากาศร้อน หากอากาศในเตาอบมีความชื้นต่ำจะทำให้มีความแตกต่างของความดันไอน้ำมาก ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชิ้นอาหารออกมาได้เร็วขึ้น ดังนั้นการสูญเสียน้ำจึงขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและอัตราการได้รับความร้อน อัตราการสูญเสียน้ำออกจากผิวนอกจะเป็นตัวเร่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชิ้นอาหาร เมื่อผิวนอกของอาหารแห้งสนิท อุณหภูมิที่ผิวนอกจะเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนภายในเตาอบ คือ ประมาณ 110-240 องศาเซลเซียส ทำให้ผิวนอกแห้งและเป็นเปลือกแข็ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การอบมีผลต่ออาหารในด้านต่าง ๆ ดังนี้ ผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส การอบทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เช่น ความชื้น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะผันแปรตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ สำหรับอาหารบางชนิดการอบจะทำให้ความชื้นลดลงทั่วทั้งชิ้นอาหาร เช่น บิสกิต จะแห้งแข็งทั่วกัน

ทั้งหมดและมีความชื้นลดลง หากเป็นอาหารประเภทธัญพืชซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสตาร์ช จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสตาร์ช เช่น เกิดเจลาทิไนซ์และดีไฮเดรชัน ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแห้งแข็ง และการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะทำให้ผิวนอกของผลิตภัณฑ์แห้งและแข็งเร็ว (McDonald, Seetharaman, Waniska, & Rooney, 1996) นอกจากนี้การอบยังทำให้เกิดกลิ่นซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบ กล่าวคือเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนสูง จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในอาหารชนิดนั้น ๆ ทำให้ได้สารสีน้ำตาลเข้ม และจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอะมิโนด้วย ซึ่งเรียกว่า Strecker Degradation โดย Strecker Aldehydes ที่เกิดขึ้นมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่ากรดอะมิโน 1 อะตอม และสารที่เกิดขึ้นนี้จะมีบทบาทต่อกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ สำหรับผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ การสูญเสียสารอาหารส่วนใหญ่ระหว่างการอบ จะเกิดที่ผิวนอกของอาหาร อาหารอบบางชนิด เช่น ขนมปังซึ่งมีการเติมวิตามินซีลงในโด วิตามินซีจะถูกทำลายทั้งหมดระหว่างการอบ ส่วนวิตามินอื่น ๆ มีการสูญเสียไม่มากนัก ในอาหารบางชนิดนอกจากจะสูญเสียวิตามินระหว่างการอบแล้วยังสูญเสียวิตามินเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาด้วย เช่น วิตามินบีหนึ่งที่ไม่ทนความร้อนในอาหารประเภทธัญพืช การสูญเสียวิตามินบีหนึ่งจะผันแปรตามอุณหภูมิที่ใช้อบ และค่าความเป็นกรดด่างของอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2543) ทั้งนี้การอบที่อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการสูญเสียวิตามินบีสองหรือ ไรโบฟลาวินที่เสริมลงในผลิตภัณฑ์ (Ranhotra, Lee, & Gelroth , 1980)

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดย กรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา (2549) ซึ่งได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์ โดยอบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11.35 นาที 7.35 นาที และ 6.08 นาที ตามลำดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกเปราะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความแตกเปราะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ทำให้สุกโดยการอบจะขึ้นกับภาวะที่ใช้ในการอบ การเกิดโพรงอากาศ (Air Cells) และรอยแตก (Cracks)ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบ ซึ่งการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เกิดโพรงอากาศและรอยแตกขนาดใหญ่ในระหว่างการอบ (Kayacier & Singh, 2004) จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกเปราะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีแดง (a*)

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง และค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) พบว่าผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างมีค่าความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24-25

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2542) แสดงสูตร และวิธีการทำแผ่นกรอบจากแป้งทุเรียน ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ แป้งทุเรียน 50 กรัม แป้งเปียกที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง 20 กรัม ไข่ขาว 5 กรัม เนยขาวเหลว 10 กรัม น้ำปูนใส 3 กรัม เกลือป่น 1 กรัม แป้งข้าวโพด 10 กรัม และแป้งข้าวเจ้า 5 กรัม ทำผลิตภัณฑ์โดยนำแป้งเปียก ผสมกับแป้งทุเรียน แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และเกลือ ซึ่งผ่านการร่อนให้เข้ากัน 2 ครั้ง นวดให้เข้ากัน เติมไข่ขาว นวดให้เข้ากัน เติมน้ำปูนใส จากนั้นผสมเนยขาวหรือน้ำมันพืช นวดให้เข้ากันดี นำไปรีดให้เป็นแผ่นบาง ด้วยเครื่องรีดบะหมี่ ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.6 มิลลิเมตร ใช้พิมพ์กดให้เป็นแผ่นกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

Jamradloedluk, Nayhakaranakule, Soponronnarit, and Prachayawarakorn (2007) ศึกษากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นกรอบไขมันต่ำ (Low-fat Durian Chip) โดยเปรียบเทียบการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน (Hot Air Drying) กับแบบที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่ง (Superheated Steam Drying) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 130-150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วในการทำแห้งเท่ากับ 2 เมตรต่อวินาที เพื่อศึกษาอัตราการทำแห้ง คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ พบว่าการทำแห้งแบบใช้ไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่งใช้ระยะเวลานานกว่าแบบใช้ลมร้อนในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากัน ทั้งนี้การทำแห้งแบบใช้ไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่งให้ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า แต่โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอน้อยกว่าและมีรูพรุนภายในโครงสร้างขนาดใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบใช้ลมร้อน ส่วนคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน

Kayacier and Saigh (2003) ประเมินคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของ Tortilla Chip ที่ทำให้สุกโดยการอบ เตรียมได้จาก Nixtamalized Masa Flour ทางการค้า โดยผสม Corn Masa Flour กับน้ำในอัตราส่วน 1:1 ในเครื่องผสม (Kitchen Mixer) ใช้ความเร็วสูง นาน 120 วินาที เพื่อให้เกิดโด ห่อโดด้วยแผ่นพลาสติก พักไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการดูดซึมน้ำที่เหมาะสม จากนั้นนำโดมารีดโดยใช้เครื่อง Rando-STE 64C Lab Scale Sheeter ให้มีความหนาสุดท้ายเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร นำไปอบในตู้อบแบบ Electrical Reel Oven ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 232 260 288 และ 315 องศาเซลเซียส แล้วรอให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง วัดค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหัก (Fracture Force) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer พบว่าตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิ 260 288 และ 315 องศาเซลเซียส มีค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการอบ และจะมีค่าสูงสุด ณ เวลาหนึ่ง จากนั้นค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหักจะลดลง ส่วนการอบที่ 232 องศาเซลเซียสจะมีค่าแรงที่ทำให้

ตัวอย่างแตกหักสูงที่สุดเมื่อถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบที่นานที่สุด นั่นคือคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส เป็นผลมาจากการเกิดช่องว่างอากาศ (Air Cell) และรอยแตกในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการศึกษาภาวะในการอบที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบด้วย

Moriki, Tanaka, and Moriya (2000) ได้พัฒนาการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปที่มีไขมันต่ำโดยทำให้ผลิตภัณฑ์สุกโดยการอบในเตาอบ วิธีการผลิตเริ่มจากการเตรียมโดจากวัตถุดิบซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมที่เป็นสตาร์ชเจลาทิไนซ์ (Gelatinized Starch) อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด จากนั้นขึ้นรูปโดให้เป็นแผ่น โดยอาจขึ้นรูปแผ่นโดให้เป็นร่องที่ด้านหนึ่งจนถึงขอบของแผ่นโด วางแผ่นโดที่ขึ้นรูปแล้วบนแผ่นโลหะหรือแผ่นตะแกรงโดยให้ด้านที่เป็นร่องหันลงด้านล่างแล้วนำไปอบในเตาอบ ตัวอย่างการผลิต Sweet Corn Chips ทำได้โดยนำส่วนผสมที่เป็นแป้ง ได้แก่ ผงข้าวโพด (Sweet Corn Powder) 70 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ชจากมันฝรั่ง (Potato Starch) 25 เปอร์เซ็นต์ แวกซ์ซีคอร์นสตาร์ช (Waxy Corn Starch) 5 เปอร์เซ็นต์ และเติมชอร์เทนิ่ง 5 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของส่วนผสมที่เป็นแป้งทั้งหมด ผสมในเครื่องผสมที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที นาน 3 นาที เพื่อให้เกิดโด นำโดที่ได้มาขึ้นรูปเป็นแผ่นให้มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องรีดแบบ Three-Roll Sheeter จากนั้นแผ่นโดจะผ่านลูกกลิ้งแบบเรียบที่อยู่ด้านล่างซึ่งประกอบกับลูกกลิ้งแบบร่องที่อยู่ด้านบนโดยร่องของลูกกลิ้งลึก 0.4 มิลลิเมตร กว้าง 2 มิลลิเมตร ปรับระยะระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.3 มิลลิเมตร เมื่อแผ่นโดผ่านลูกกลิ้งออกมาแล้ว จะถูกพิมพ์ตัดออกมาเป็นรูปวงกลม หลังจากขึ้นรูป แผ่นโดจะมีความหนาประมาณ 0.9-1.1 มิลลิเมตร นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที

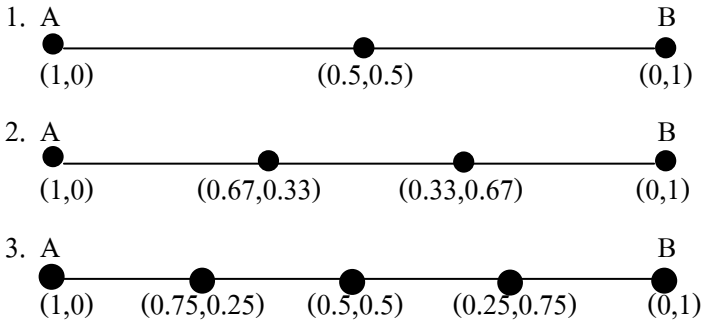
Volpe et al. (1999) รายงานว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมอบแต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สูตรของโดหรือแบตเตอร์ ชนิดของตู้อบ เป็นต้น โดยทั่วไปเวลาในการอบจะอยู่ในช่วงประมาณ 3-8 นาที ตัวอย่างเช่น เวลาในการอบของแครกเกอร์ รวมถึงผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบอาจอยู่ในช่วงประมาณ 2.5-5 นาที ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบจะอยู่ในช่วงประมาณ 121-343 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป (Fabricated Chips) โดยทั่วไปจะน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เช่น อาจอยู่ในช่วง 0.25-4 เปอร์เซ็นต์

การพัฒนาสูตรโดยวางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design)

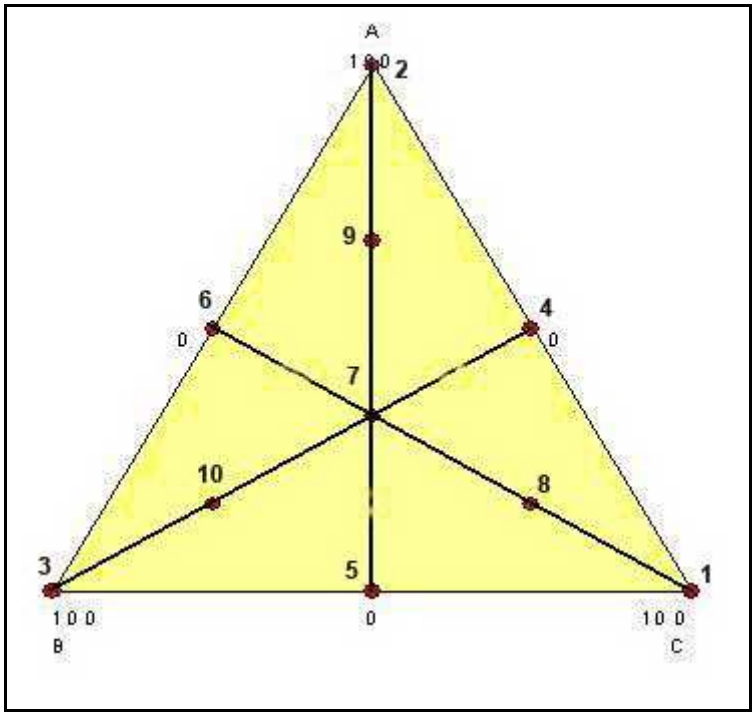
การพัฒนาผลิตภัณฑ์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภค ซึ่งการที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการนั้นจะต้องมีการวางแผนการทดลองที่เหมาะสม เช่น การวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) และการวางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design) เป็นต้น

การวางแผนการทดลองแบบผสม เป็นเทคนิคซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาสูตร เนื่องจากอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อส่วนประกอบใดเปลี่ยน ส่วนประกอบที่เหลือในสูตรจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงด้วย เช่น เมื่อส่วนประกอบหนึ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ย่อมทำให้ส่วนประกอบอื่น ๆ มีสัดส่วนลดลง โดยที่ผลรวมของส่วนประกอบทั้งหมดรวมกันเท่ากับ 1.0 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2539)

สำหรับการวางแผนการทดลองแบบผสมที่มีตัวแปรในการศึกษา 2 ชนิดได้แก่ A และ B ช่องว่างที่เป็นการวางแผนการทดลองแบบผสมของ A และ B จะแสดงเป็นเส้นตรง โดยที่ A+B = 1 ซึ่งจะได้สิ่งทดลองดังนี้



ในกรณีที่มีตัวแปรในการศึกษา 3 ชนิด ได้แก่ A B และ C สามารถแสดงอัตราส่วนของตัวแปรแต่ละชนิดในสูตรได้ดังภาพที่ 2-1 และระดับของส่วนประกอบสามารถวิเคราะห์ได้จากการวัดโดยใช้เส้นตั้งฉากจากแกนของส่วนประกอบแต่ละชนิด ซึ่งถ้าเป็นการทดลองแบบเต็มรูปแบบการวางแผนการทดลองแบบผสมที่มีตัวแปร 3 ชนิด จะได้สิ่งทดลองดังนี้ ที่จุดยอดมุม (1, 2 และ 3) ที่จุดกึ่งกลางแกน (4, 5 และ 6) จุดศูนย์กลาง (7) และจุดกึ่งกลางระหว่างจุดศูนย์กลางกับจุดยอดมุม (8, 9 และ 10)



ภาพที่ 2-1 ช่องว่างของแผนการทดลองแบบผสมที่ประกอบด้วยตัวแปร 3 ชนิด
(Anderson & Whitcomb, 2008)

นอกจากแผนการทดลองดังกล่าวข้างต้นแล้ว ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์บางชนิด อาจต้องวางแผนการทดลองแบบมีข้อจำกัดเป็นสัดส่วน (Constrained Mixture Design) กล่าวคือ แผนการทดลองแบบนี้ ระดับในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องอยู่ในช่วง 0-100 เปอร์เซ็นต์ (0.00-1.00) โดยอาจเป็น 20-30 เปอร์เซ็นต์ (0.20-0.30) หรือ 10-25 เปอร์เซ็นต์ (0.10-0.25) เป็นต้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องมาจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดลองบางอย่าง เช่น ในการผลิตอาหารบางชนิดที่มีส่วนผสมของกลูเตน (Gluten) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolated) และน้ำ พบว่าต้องมีส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองรวมกันอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด (โดยใช้ในปริมาณเท่ากันชนิดละ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด) จึงสามารถจับเป็นก้อนเพื่อทำการรีดเป็นแผ่นได้ ดังนั้นส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด จึงไม่นำมาศึกษา ขณะเดียวกันพบว่าหากมีน้ำต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด จะไม่สามารถปั้นให้เป็นก้อนได้ ดังนั้นจึงอาจกำหนดปริมาณขั้นต่ำของกลูเตน โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและน้ำเป็น 25 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ตามลำดับ โดยปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสม ทั้ง 3 รวมกัน ต้องไม่เกินหรือเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสม

ทั้งหมด อย่างเด็ดขาด ไม่เช่นนั้นจะมีเพียงส่วนผสมเดียวที่เป็นไปได้ หรือไม่มีส่วนผสมใดที่เป็นไปได้เลย (อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2544)

เกษม หฤทัยธนาสันติ์, อุมาภรณ์ สุจริตทวีสุข, สุธาสินี อาจวิชัย, ธงชัย สุวรรณสิชณน์ และเพ็ญขวัญ ชมปรีดา (2547) ศึกษาการใช้ประโยชน์แป้งข้าวกล้องทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์กรอบเค็ม วางแผนจัดสิ่งทดลองแบบผสม ภายใต้ข้อจำกัดแป้งสาลี 30-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด แป้งถั่วเขียว 0-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด และแป้งข้าวกล้อง 20-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด เพื่อหาสูตรที่เหมาะสม พบว่าอัตราส่วนของแป้งสาลี 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด แป้งถั่วเขียว 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด และแป้งข้าวกล้อง 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต เมื่อทำการพัฒนากระบวนการผลิตโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์กรอบเค็ม ได้แก่ อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด ปริมาณผงฟู ปริมาณน้ำ และความหนาของแผ่นแป้งก่อนทอด ด้วยวิธีทางสถิติ Plackett and Burman พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการทอดมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากที่สุดและจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดผลิตภัณฑ์กรอบเค็ม โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิในการทอด 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด 3 ระดับ คือ 1 1.5 และ 2 นาที และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยเทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) พบว่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 1.5 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทอด เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดมาทำการเคลือบคาราเมลและปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยผงเคลือบกลิ่นรสบาร์บีคิว และกลิ่นรสกระเทียมพริกไทยก่อนนำมาทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 100 คน พบว่าผู้บริโภคให้ค่าคะแนนความชอบอยู่ในระดับปานกลางและยอมรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

น้ำฝน รักขุมแก้ว, กมลวรรณ แจ้งชัด และอนุวัตร แจ้งชัด (2549) ศึกษาสัดส่วนของแป้งที่เหมาะสมในการผลิตกระทงสำหรับอาหารว่าง โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยเทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนอง และปัจจัยที่ศึกษามี 3 ปัจจัย คือ แป้งข้าวเจ้า 50-100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด แป้งสาลี 0-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด และแป้งมันสำปะหลัง 0-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด พบว่า สิ่งทดลองที่เหมาะสมในการผลิตกระทงสำหรับอาหารว่างคือ สิ่งทดลองที่มีสัดส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 15:70:15 โดยมีค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านรสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมโดยรวมสูงที่สุด และมีค่าความแข็งเท่ากับ 5.60 นิวตัน นอกจากนี้พบว่าเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็ง และคะแนนความชอบด้านความกรอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มปริมาณแป้งสาลีมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ และ

ความชอบรวมเพิ่มมากขึ้น สำหรับการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด พบว่าทำให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์แตกเปราะได้ง่ายขึ้น

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

1. การวัดสี

สีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบมีความสำคัญต่อคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส บ่งบอกถึงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปนิยมวัดสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบในระบบ CIE LAB (Villagran et al., 2004) รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (a*) ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b*) โดยค่า L* มีขอบเขตตั้งแต่ 0.0 ซึ่งแสดงถึงสีดำจนถึง 100.0 ซึ่งแสดงถึงสีขาว ค่า -a* แสดงถึงสีเขียว +a* แสดงถึงสีแดง ค่า -b* แสดงถึงสีน้ำเงิน และ +b* แสดงถึงสีเหลือง (Pedreschi et al., 2007)

2. การวัดเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นลักษณะสำคัญที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัสประกอบด้วยการรับรู้ทางกายภาพต่าง ๆ อันเป็นผลมาจากโครงสร้างขององค์ประกอบของอาหาร สามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัส การวัดเนื้อสัมผัสโดยทั่วไปนิยมวัดโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture Analyzer) ซึ่งเป็นวิธีการเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ ทั้งนี้ค่าที่วัดเพื่อบ่งบอกลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบได้แก่ ค่าแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มแตกหัก หรือ ค่าความแตกเปราะ (Fracturability) โดยใช้หัววัดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/ 4 นิ้ว (1/ 4” Ball Probe หรือ P/ 0.25S) (Garayo & Moreira, 2002)

3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพของอาหารโดยใช้ประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นเครื่องวัดคุณภาพที่แสดงออกโดยทางอ้อมได้ชัดเจน เช่น รสชาติ กลิ่น สี และลักษณะเนื้อสัมผัส ในการทดสอบอาจทำการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการประเมินคุณภาพ (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2536) อย่างไรก็ตาม การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสอาจใช้ควบคู่ไปกับการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือเพื่อเป็นการตรวจสอบผลการประเมินอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นความสัมพันธ์ของการวัดค่าทั้งสองจึงมีความสำคัญในการประเมินคุณภาพ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2539) วิธีการประเมินคุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัสสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การทดสอบการยอมรับ (Acceptance Test) ด้วยวิธีทดสอบฮีโดนิก (Hedonic Test)

ฮีโดนิก (Hedonic) หมายถึง ความพอใจ (Pleasant) สเกลแบบฮีโดนิก มีสเกลทั้งแบบตัวเลข (Numerical Hedonic Scale) และแบบตัวหนังสือ (Verbal Hedonic Scale) ซึ่งมีหลายระดับ เช่น 3-จุด (Three-Point Hedonic) 5-จุด (Five-Point Hedonic) 7-จุด (Seven-Point Hedonic) และที่นิยมใช้คือ 9-จุด (Nine- Point Hedonic) ดังรายละเอียดในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สเกลฮีโดนิกที่ใช้ทดสอบการยอมรับของวิธีทดสอบฮีโดนิก (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

	สเกลตัวเลข	สเกลตัวหนังสือ
9-จุด	1	ไม่ชอบมากที่สุด (Dislike Extremely)
	2	ไม่ชอบมาก (Dislike Very Much)
	3	ไม่ชอบปานกลาง (Dislike Moderately)
	4	ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike Slightly)
	5	เฉยๆ (Neighter Like nor Dislike)
	6	ชอบเล็กน้อย (Like Slightly)
	7	ชอบปานกลาง (Like Moderately)
	8	ชอบมาก (Like Very Much)
	9	ชอบมากที่สุด (Like Extremely)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. เมล็ดขนุนจากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐ อายุการเก็บเกี่ยว 120-135 วัน ซื้อจากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน

2. แป้งข้าวเจ้า ตราใบหยก ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท บางกอกอินเตอร์ฟูด จำกัด กรุงเทพมหานคร

3. แป้งข้าวโพด ตราคนอร์ ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทยเทรดดิ้ง จำกัด กรุงเทพมหานคร

4. เนยขาว ตราใบไม้ทอง ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท ล่ำสูง จำกัด กรุงเทพมหานคร

5. เกลือ ตราปรุงทิพย์ ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา

6. มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) (DE 10-12) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Winner Group Enterprise กรุงเทพมหานคร

7. โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์ (Mono-diglyceride) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Caltech Corporation จังหวัดสมุทรปราการ

8. ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A มีส่วนประกอบคือ เกล็ดมันฝรั่ง 46.5 เปอร์เซ็นต์ แป้งสาลี 7.7 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวโพด 5.6 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเจ้า 2.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช 27.4 เปอร์เซ็นต์ เครื่องปรุงรส 2.0 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น มอลโตเดกซ์ทริน เดกซ์โทรส โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์ 8.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนประกอบทั้งหมด

9. ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า B มีส่วนประกอบคือ เกล็ดมันฝรั่ง 48.0 เปอร์เซ็นต์ แป้งสาลี 6.0 เปอร์เซ็นต์ แป้งมันสำปะหลัง 6.0 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ชดัดแปร 3.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช 32.0 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องปรุงรส 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนประกอบทั้งหมด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Olympus รุ่น BX50 ประเทศญี่ปุ่น
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) LEO รุ่น 1450 VP สหราชอาณาจักร
3. ครูซิเบิล (Crucible)
4. คิวเวตต์ ชนิดควอทซ์ ขนาดช่องแสงผ่าน 10 มิลลิเมตร
5. เครื่องแก้ว เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดปรับปริมาตร เป็นต้น
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 4100S ประเทศเยอรมนี
7. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC 211S ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray Dryer)
9. เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double Drum Dryer) Ofm รุ่น DOFM 19/ 26 ประเทศไทย
10. เครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) Retsch Ultra รุ่น ZM 1000 ประเทศเยอรมนี
11. เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Vacuum Sealer) Audiovac รุ่น VM201 ประเทศเยอรมนี
12. เครื่องผสมไฟฟ้า (Mixer) กิตติวัฒนา รุ่น KV- 05 ประเทศไทย พร้อมหัวผสมรูปตะขอ (Dough Hook)
13. เครื่องร่อน (Sieving Machine) Retch Mule รุ่น VE 1000 ประเทศเยอรมนี
14. เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer) Sartorius รุ่น MA 30 ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) Stable Micro System รุ่น TA-XT2 สหราชอาณาจักร
16. เครื่องวัดความเป็นกรดด่างแบบตั้งโต๊ะ (pH Meter) Schott รุ่น CG 842 ประเทศเยอรมนี
17. เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan รุ่น XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
18. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet Apparatus) Gerhardth รุ่น S306AK ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
19. เครื่องสไลด์ (Vegetable Preparation) Hallde รุ่น RG-S50 ประเทศสวีเดน
20. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) Spectronic รุ่น Genesys 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา
21. เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดตั้งโต๊ะ (Centrifuge) Hermle รุ่น Z323K ประเทศเยอรมนี

22. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl Apparatus) Büchi รุ่น B-323 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

23. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี

24. เตาเผา (Muffle Furnace) Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร

25. เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน (Conveyor Electric Oven) Champ รุ่น TT-D5A ประเทศจีน

26. เตาอบไฟฟ้า Severin รุ่น SEV-2024 ประเทศเยอรมนี

27. โถดูดความชื้น (Desiccator)

28. เทอร์โมมิเตอร์

29. พิมพ์กดโดรูปวงรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 × 6.5 เซนติเมตร

30. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture Can)

31. หลอดหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Tubes) ขนาด 50 มิลลิลิตร

32. อุปกรณ์งานครัว เช่น หม้อ ทัพพี เป็นต้น

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulphuric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
2. กรดบอริก (Boric Acid) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
4. เชียร์อินดิเคเตอร์ (Shear Indicator) บริษัท Büchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. ซีลีเนียมไดออกไซด์ (Selenium Dioxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium Dihydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
8. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
9. เทอร์มามิล (Thermamyl: Heat-Stable, Alpha-Amylase) บริษัท อีสต์เอเชียติค (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย
10. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
11. โปรติเอส (Protease) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

12. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide) บริษัท APS Finechem ประเทศออสเตรเลีย

13. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) บริษัท M & B สหราชอาณาจักร

14. อะไมโลกลูโคสิเดส (Amyloglucosidase) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

15. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethylalcohol) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

16. ไอโอดีน (Iodine) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

1.1 การเตรียมแป้งเมล็ดขนุน

1.1.1 การเตรียมแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม (แป้งดิบจากเมล็ดขนุน)

เตรียมแป้งจากเมล็ดขนุนตามวิธีของ กรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา (2549) โดยนำเมล็ดขนุนจากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐมาล้างทำความสะอาด นำไปต้มในน้ำเดือด ในอัตราส่วนเมล็ดขนุน 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 4 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที เพื่อช่วยในการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออก จากนั้นลอกเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาวครีมและสีน้ำตาลออกจนหมด แล้วจึงล้างด้วยน้ำให้สะอาดและพักให้สะเด็ดน้ำ นำเมล็ดมาหั่นเป็นแผ่นบางให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร นำแผ่นเมล็ดขนุนแผ่ลงบนถาดอะลูมิเนียม แล้วนำไปอบให้แห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) แล้วร่อน ผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้แป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ

1.1.2 การเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด

เตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนตามวิธีของ รุ่งฤดี สกุลณา (2547) โดยนำเมล็ดขนุนจากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐมาล้างทำความสะอาด นำไปต้มในน้ำเดือด ในอัตราส่วนเมล็ดขนุน 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 4 ลิตร แปรระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนเป็น 15 30 และ 45 นาที จากนั้นลอกเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาวครีมและสีน้ำตาลออกจนหมด แล้วดำเนินการเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1.1 จะได้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ

1.1.3 การเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

เตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน โดยนำเมล็ดขนุนจากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐมาล้างทำความสะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ ลอกเยื่อสีขาวครีมออก นำเมล็ดมาหั่นเป็นแผ่นบางให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำมาปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 นาที กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2546) นำน้ำแป้งที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่โดยแปรอุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส กำหนดความเร็วรอบของลูกกลิ้งเป็น 0.4 รอบต่อนาที และปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองเป็น 0.4 มิลลิเมตร ทำแห้งจนกระทั่งแป้งมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ (รายละเอียดวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่แสดงดังภาคผนวก ก) จากนั้นบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ

นำแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้ในข้อ 1.1.1 1.1.2 และ 1.1.3 มาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% Yield) โดยชั่งน้ำหนักผลผลิตแป้งที่ได้เทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสดเริ่มต้นที่ยังไม่ได้ลอกเยื่อหุ้มเมล็ดออก แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ ดังนี้

ผลผลิตที่ได้ (เปอร์เซ็นต์) = (W_1 / W_2) x 100

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตได้ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักเมล็ดขนุนสดเริ่มต้น (กรัม)

1.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

นำแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้ในข้อ 1.1.1 1.1.2 และ 1.1.3 มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- ค่าสี

วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ใช้ระบบสี CIE LAB รายงานผลเป็นค่า L* a* b* และคำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index) ดังนี้

ค่าดัชนีความขาว = $100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$

โดยที่ L* หมายถึง ความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว)

+a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ -a* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว

+b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ -b* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน

- ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index) และดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index) (Anderson, Conway, Pfeifer, & Griffin, 1969) (รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข-1)

- อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ (Birch & Priestley, 1973) (รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข-2)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) (มนทกานต์ เบญจพลากร, 2549) (รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข-3)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548) วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 17

1.3 การเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

นำแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้จากการทดลองในข้อ 1.1 มาเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ ตามสูตรการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนของ วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สูตรของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน (วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน, 2549)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ	
	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้งทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด
แป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์	75	30.38
แป้งข้าวเจ้า	15	6.07
แป้งข้าวโพด	10	4.05
มอลโตเดกซ์ทริน	15	6.07
โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์	1	0.40
เนยขาว	13	5.26
เกลือ	3	1.21
น้ำ	115	46.56
รวม		100

(1) นำส่วนผสมทั้งหมดที่เตรียมไว้ใส่ลงในอ่างผสม นวดให้เข้ากันจนเป็นก้อนโด โดยใช้เครื่องผสม ความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 1 นาที และเบอร์ 3 เป็นเวลา 5 นาที

(2) นำโดที่ได้มาขึ้นรูปโดยรีดด้วยลูกกลิ้งให้มีความหนา 0.9 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปวงรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 × 6.5 เซนติเมตร โดยใช้พิมพ์กด วางเรียงบนตะแกรงแล้วนำไปอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

สำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม เตรียมตามสูตร (ตารางที่ 3-1) และวิธีการเตรียมของ วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) โดยใช้แป้งเมล็ดขนุนดิบแทนแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ นำมาเตรียมเป็นน้ำแป้งความเข้มข้น 19 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที โดยกวนน้ำแป้งตลอดเวลาจะได้เป็นแป้งเปียก ต่อมานำแป้งเปียกที่ได้มาผสมกับส่วนผสมทั้งหมดที่เตรียมไว้ แล้วจึงเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบตามวิธีการข้างต้นข้อ 1.3-(1) และ 1.3-(2) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน

1.4 ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มาประเมินคุณภาพดังนี้

- ค่าสี

วัดค่าสีตามวิธีของ Pedreschi et al. (2007) โดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนจำนวน 12 ชิ้น ใส่ลงในภาชนะใส่ตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร วัดค่าสี 3 ครั้ง ต่อการสุ่มตัวอย่าง 1 ครั้ง ทั้งนี้ในแต่ละสิ่งทดลองจะสุ่มตัวอย่างทั้งหมด 3 ครั้งต่อการวัดค่าสี 1 ซ้ำ ใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* และ b* นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความเข้มของสี (C*) และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ดังนี้

ค่าความเข้มของสี (C*) = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

ค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) = $\tan^{-1} (b^*/a^*)$

- ลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนจำนวน 12 ชิ้น มาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัดทรงกลม (Ball Probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/ 4 นิ้ว (P/ 0.25S) กดลงตรงกลางชิ้นผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ โดยใช้ฐานรองชนิด HDP/ 90 Heavy Duty Platform รายงานผลเป็นค่าความแตกเปราะ (Fracturability) ซึ่งอ่านค่าจากค่าแรงสูงสุด (Peak Force) ที่ทำให้ตัวอย่างเริ่มเกิดการแตกหัก (รายละเอียดวิธีการวัดแสดงดังภาคผนวก ค)

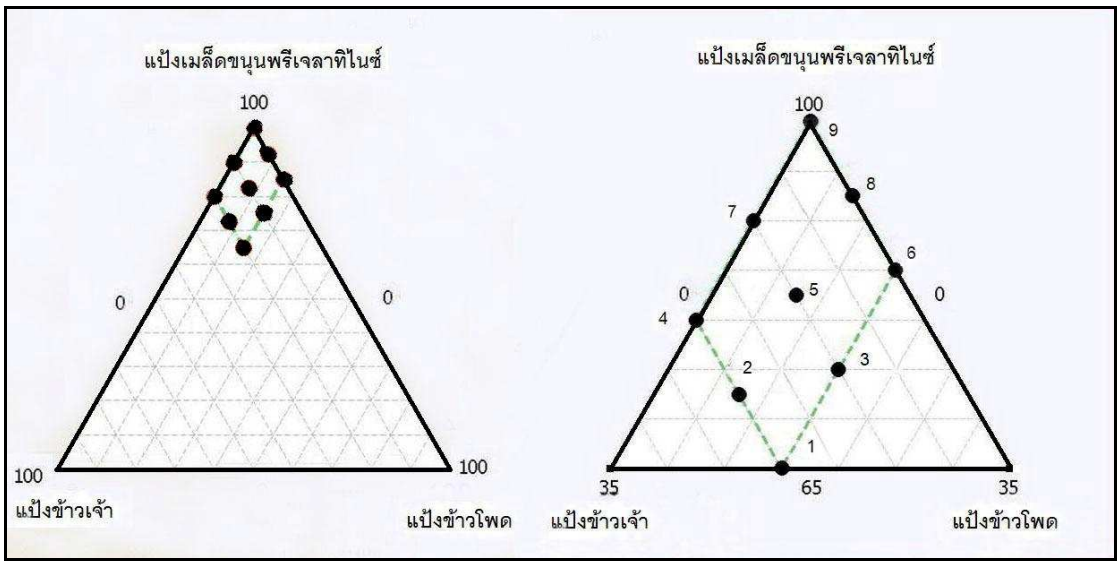
- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน อายุเฉลี่ย 21 ปี ซึ่งเป็นนิสิตชั้นปีที่ 3 และปีที่ 4 ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยแบ่งเป็น ชาย 5 คน อายุเฉลี่ย 20 ปี และหญิง 45 คน อายุเฉลี่ย 21 ปี (แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดังภาคผนวก ง) โดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ 6 ตัวอย่างที่เตรียมได้จากการทดลองข้อ 1.1.2 และ 1.1.3 กับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 17 ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เลือกวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ที่ให้ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมสูงสุดและต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่า 6 คะแนน เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ต่อไป

ตอนที่ 2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

นำแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ ที่เลือกได้จากการทดลองในตอนที่ 1 มาเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบเช่นเดียวกับข้อ 1.3 โดยดัดแปลงมาจากสูตรมาตรฐานในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนของ วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) ซึ่งกำหนดให้ส่วนผสมอื่นที่ไม่ใช่แป้งมีปริมาณคงที่ ดังนี้ เนยขาว 13 เปอร์เซ็นต์ มอลโตเดกซ์ทริน 15 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 115 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง และแปรปริมาณแป้งซึ่งเป็นส่วนผสมหลักดังนี้ แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 65-100 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเจ้า 0-20 เปอร์เซ็นต์ และแป้งข้าวโพด 0-15 เปอร์เซ็นต์ วางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design) โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 15 (Trial Version) จะได้พื้นที่ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ แสดงดังภาพที่ 3-1 และได้สูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ 9 สูตร เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (สูตรที่ 10) ดังตารางที่ 3-2



ภาพที่ 3-1 พื้นที่ที่ใช้ในการพัฒนาสูตรที่ได้มาจากการวางแผนการทดลองแบบผสม

ตารางที่ 3-2 สูตรส่วนผสมแป้งที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบผสม

	ปริมาณแป้ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด)		
สูตร	แป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	แป้งข้าวเจ้า	แป้งข้าวโพด
1	65.0	20.0	15.0
2	72.5	20.0	7.5
3	75.0	10.0	15.0
4	80.0	20.0	0
5	82.5	10.0	7.5
6	85.0	0	15.0
7	90.0	10.0	0
8	92.5	0	7.5
9	100.0	0	0
10*	75.0[2]	15.0	10.0

[2] แป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม

* สูตรมาตรฐานของ วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549)

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 10 สูตร มาประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับข้อ 1.4 ทั้งนี้สำหรับค่าสี นำค่า L* a* และ b* ที่ได้มาคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ดังนี้

ค่าความแตกต่างของสี $= [(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2]^{1/2}$

โดยที่ L^*_1 หมายถึง ค่าความสว่างของตัวอย่างควบคุม

L^*_2 หมายถึง ค่าความสว่างของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

a^*_1 หมายถึง ค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างควบคุม

a^*_2 หมายถึง ค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

b^*_1 หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างควบคุม

b^*_2 หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 17 ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ แบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ เลือกสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้รับคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงสุด และใช้แป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์สูงที่สุดมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ต่อไป

ตอนที่ 3 ศึกษาภาวะในการทำให้สุกที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ศึกษาภาวะในการทำให้สุกที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำให้สุก 2 วิธี คือ วิธีการใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา โดยตัวอย่างวางอยู่กับที่ในขณะให้ความร้อน และวิธีการใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน ซึ่งตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ไปตามสายพานในขณะให้ความร้อน

3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา

เตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนเช่นเดียวกับข้อ 1.3 นำมาอบตามวิธีการของ กรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา (2549)โดยแปรอุณหภูมิในการอบเป็น 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส

โดยวางตัวอย่างชิ้นโดที่ขึ้นรูปแล้วเรียงบนตะแกรงสำหรับอบขนาด 36 × 30 เซนติเมตร แล้วนำไปอบในเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา กำลังไฟ 1500 วัตต์ ที่มีขนาดของช่องอบสูง 27 เซนติเมตร กว้าง 36.5 เซนติเมตร และลึก 32 เซนติเมตร วางตะแกรงที่ชั้นกลางของช่องอบ ปรับการให้ความร้อนในเตาอบเป็นแบบให้ความร้อนทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยทุกครั้งของการอบจะเปิดเครื่องไว้ก่อนนำผลิตภัณฑ์เข้าอบนาน 15 นาที ในระหว่างการอบที่แต่ละอุณหภูมิจะสุ่มตัวอย่างจำนวนครั้งละ 3 ชิ้น เพื่อชั่งน้ำหนักทุก 1 นาที เป็นเวลา 15 นาที ดำเนินการทดลองเก็บข้อมูล 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบ หาเวลาในการอบของแต่ละอุณหภูมิที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบ

3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน

เตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนเช่นเดียวกับข้อ 1.3 นำมาอบในเตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน กำลังไฟ 6300 วัตต์ ขนาด 35 × 114 × 60 เซนติเมตร และมีพัดลมช่วยกระจายความร้อนภายในเตาอบ โดยแปรอุณหภูมิในการอบเป็น 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ความเร็วสายพาน 1 รอบต่อนาที ปรับระดับของแผ่นกั้นช่องอบให้อยู่ที่ระดับล่าง หรืออยู่สูงจากสายพาน 3.5 เซนติเมตร ปรับการให้ความร้อนในเตาอบเป็นแบบให้ความร้อนทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยทุกครั้งของการอบจะเปิดเครื่องไว้ก่อนนำผลิตภัณฑ์เข้าอบนาน 15 นาที ในระหว่างการอบที่แต่ละอุณหภูมิจะสุ่มตัวอย่างจำนวนครั้งละ 3 ชิ้น เพื่อชั่งน้ำหนักทุก 1 นาที เป็นเวลา 15 นาที ดำเนินการทดลองเก็บข้อมูล 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบ หาเวลาในการอบของแต่ละอุณหภูมิที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบ

3.3 ศึกษาภาวะในการอบที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

เมื่อทราบเวลาในการอบที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละอุณหภูมิในการอบจากข้อ 3.1 และ 3.2 แล้ว ทำการทดลองโดยเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบตามวิธีการในข้อ 1.3 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน ตามเวลาในการอบที่ทำนายได้ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- ค่าสี วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* และ b* (Pedreschi et al., 2007) และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า C* และค่า (h*) เช่นเดียวกับข้อ 1.4

- ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดลักษณะเนื้อสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 1.4

- การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค

ศึกษาโครงสร้างแบบภาพตัดขวาง (Cross Section) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่านการทำให้สุกที่ภาวะต่าง ๆ ตามวิธีของ กรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา (2549) โดยหักชิ้นตัวอย่างขนาดประมาณ 10 × 0.5 มิลลิเมตร วางในแนวตั้งสำหรับศึกษาภาพตัดขวางโดยใช้เทปกาวติดบนแท่นวางตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างไปเคลือบทองโดยใช้เครื่อง Sputter-Coater (Polaron Range, SC7620, England) ในสภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 50 เท่า

- การศึกษาลักษณะของเซลล์อากาศ (Air Cell)

ศึกษาลักษณะของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่านการทำให้สุกที่ภาวะต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Pardo et al. (2008) โดยการใช้โปรแกรม UTHSCSA Image Tool for Windows Version 3.0 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ นำภาพตัดขวางบริเวณกึ่งกลางของชิ้นผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบขนาด 5 × 8 เซนติเมตร ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมาวิเคราะห์จำนวน และขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศ โดยกำหนดค่าความละเอียดของภาพเป็น 300 จุดต่อนิ้ว (Dot per Inch, dpi) บันทึกรูปภาพด้วยนามสกุล BMP มาวิเคราะห์จำนวนเซลล์อากาศ และขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก จ)

- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน อายุเฉลี่ย 21 ปี ซึ่งเป็นนิสิตชั้นปีที่ 3 และปีที่ 4 ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยแบ่งเป็น ชาย 5 คน อายุเฉลี่ย 20 ปี และหญิง 45 คน อายุเฉลี่ย 21 ปี

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ จะได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 วิธีการและอุณหภูมิในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

สิ่งทดลองที่	วิธีการอบ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	เตาอบไฟฟ้า	160
2	เตาอบไฟฟ้า	180
3	เตาอบไฟฟ้า	200
4	เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	160
5	เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	180
6	เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	200

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 17 ส่วนการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ เลือกภาวะในการอบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุดมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 4 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่เลือกได้จากตอนที่ 3 มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ช) โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบทางการค้าได้แก่ A และ B ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

1. ค่าสี วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* และ b* (Pedreschi et al., 2007) และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า C* และค่า h* เช่นเดียวกับข้อ 1.4
2. ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดลักษณะเนื้อสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 1.4

คุณภาพทางเคมี ได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (AOAC Method 925.10, 1990)
2. ปริมาณโปรตีน (AOAC Method 920.57, 1990)
3. ปริมาณไขมัน (AOAC Method 920.39, 1990)
4. ปริมาณเถ้า (AOAC Method 923.03, 1990)
5. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณดังนี้

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) = 100 – (โปรตีน+ไขมัน+ เถ้า)

6. ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber) (AACC Method 32-05, 1990)
   - ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber)
   - ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble Dietary Fiber)
7. ปริมาณพลังงาน โดยวิธีการคำนวณดังนี้

ปริมาณพลังงาน (กิโลแคลอรี) = (ปริมาณโปรตีน $\times$ 4) + (ปริมาณคาร์โบไฮเดรต $\times$ 4) + (ปริมาณไขมัน $\times$ 9)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

1.1 ผลการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนสองวิธี ได้แก่ การเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที (B-15, B-30 และ B-45 ตามลำดับ) และการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ แปรอุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส กำหนดความเร็วรอบของลูกกลิ้งเป็น 0.4 รอบต่อนาที และปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองเป็น 0.4 มิลลิเมตร โดยมีแป้งดิบจากเมล็ดขนุนเป็นสิ่งทดลองควบคุม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า วิธีการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนแต่ละวิธีให้ปริมาณผลผลิตแป้งเมล็ดขนุนที่ได้แตกต่างจากวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมให้ปริมาณผลผลิตที่ได้สูงที่สุดคือ 39.46 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมล็ดขนุนสด ส่วนแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำที่สุดคือ 17.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมล็ดขนุนสด ทั้งนี้วิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตแป้งที่ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-1 ผลของวิธีการเตรียมต่อปริมาณแป้งเมล็ดขนุน[1]

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ปริมาณผลผลิตแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมล็ดขนุนสด)
Control	39.46^{a}±0.70
B-15	37.94^{b}±0.74
B-30	37.11^{bc}±0.16
B-45	36.54^{c}±0.78
DD-120	17.16^{e}±0.13
DD-130	19.31^{d}±0.16
DD-140	19.26^{d}±0.10

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง แป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

1.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

จากการนำแป้งที่เตรียมได้มาศึกษาสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และดัชนีความขาว ดังตารางที่ 4-2 พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าความสว่างน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้จะมีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่า มีค่าความสว่างมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความขาว พบว่า ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับค่าความสว่างคือ แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าดัชนีความขาวน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม ส่วนแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีความขาวมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 4-2 ผลของวิธีการเตรียมต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และดัชนีความขาวของแป้งเมล็ดขนุน[1]

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ค่าสี			Whiteness index
	L*	a*	b*	
Control	89.81^{d}±0.05	0.29^{c}±0.01	10.42^{c}±0.10	85.42^{d}±0.11
B-15	88.79^{e}±0.11	0.53^{b}±0.04	10.88^{d}±0.19	84.37^{e}±0.21
B-30	88.56^{f}±0.03	0.71^{a}±0.01	13.19^{a}±0.06	82.52^{f}±0.06
B-45	88.36^{g}±0.14	0.71^{a}± 0.01	13.25^{a}±0.02	82.35^{f}±0.08
DD-120	92.07^{a}±0.02	0.08^{e}±0.01	6.47^{f}±0.04	89.77^{a}±0.02
DD-130	91.67^{b}±0.01	0.22^{d}±0.00	6.64^{e}±0.01	89.34^{b}±0.01
DD-140	91.50^{c}±0.01	0.24^{d}±0.01	6.83^{d}±0.02	89.10^{c}±0.00

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง แป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

เมื่อวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน เปรียบเทียบกับแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม ดังตารางที่ 4-3 พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมจากทั้งสองวิธีมีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงกว่าตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด ทั้งนี้เมื่อใช้อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับการใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-3 ผลของวิธีการเตรียมต่อดัชนีการละลาย ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งเมล็ดขนุน[1]

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ดัชนีการละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	ดัชนีการดูดซับน้ำ (กรัมต่อกรัม)	อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ (เปอร์เซ็นต์)
Control	2.55[e]±0.07	2.81[e]±0.04	0.71[f]±0.24
B-15	3.00[e]±0.09	2.88[e]±0.06	16.70[e]±0.32
B-30	4.50[d]±0.13	3.85[d]±0.03	30.54[d]±0.56
B-45	4.74[d]±0.13	3.87[d]±0.01	30.61[d]±0.48
DD-120	18.47[c]±0.30	10.75[c]±0.30	80.79[c]±0.23
DD-130	20.51[b]±0.06	11.78[b]±0.10	85.07[b]±0.06
DD-140	21.35[a]±0.01	12.01[a]±0.02	88.96[a]±0.15

[a, b, c,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

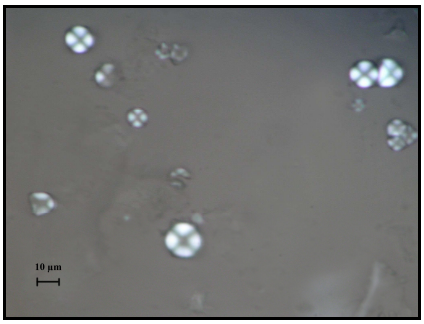
[1] หมายถึง แป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

จากการศึกษาผลของวิธีการเตรียมต่อการกระจายตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งจากเมล็ดขนุนดังตารางที่ 4-4 พบว่า แป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมมีขนาดของเม็ดแป้งส่วนใหญ่ อยู่ในช่วง 2.5 - 17.5 ไมโครเมตร ในขณะที่การเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด ส่งผลให้เม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการต้มมากขึ้น ทั้งนี้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ไม่สามารถวัดขนาดของเม็ดแป้งได้เนื่องจาก เม็ดแป้งโดยส่วนใหญ่เกิดเจลาทิไนซ์มาก จนกระทั่งสูญเสีย Birefringence และสภาพความเป็นเม็ดแป้งดังภาพที่ 4-1

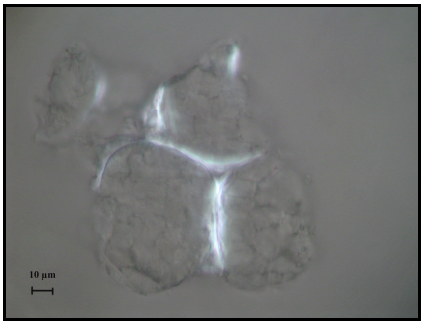
ตารางที่ 4-4 ผลของวิธีการเตรียมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งจากเมล็ดขนุน

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (ไมโครเมตร)
Control	2.5 - 17.5
B-15	2.5 - 25.0
B-30	5.0 - 42.5
B-45	5.0 - 52.5
DD-120	-[1]
DD-130	-[1]
DD-140	-[1]

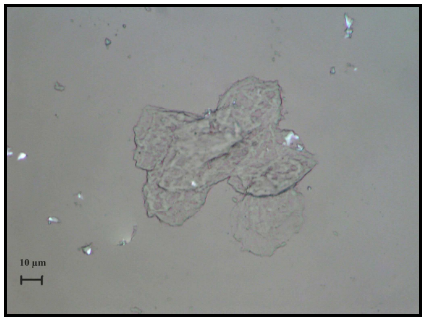
หมายเหตุ [1] หมายถึง ไม่สามารถวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งได้



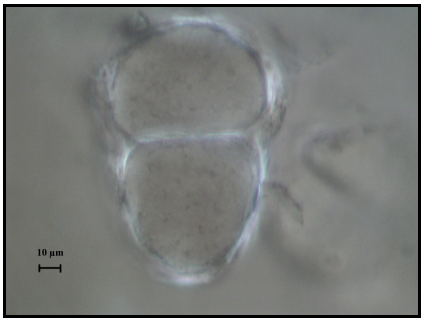
(ก)



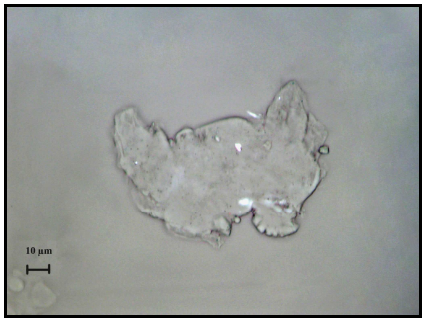
(ข)



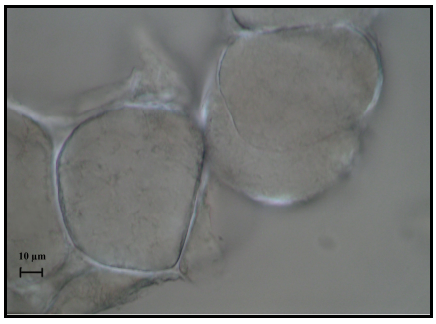
(จ)



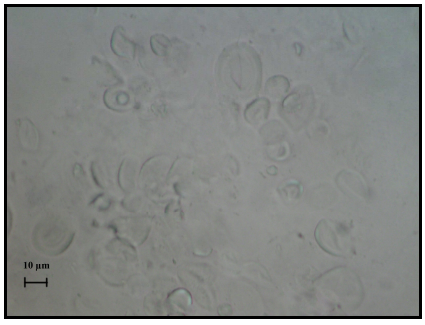
(ค)



(ฉ)



(ง)

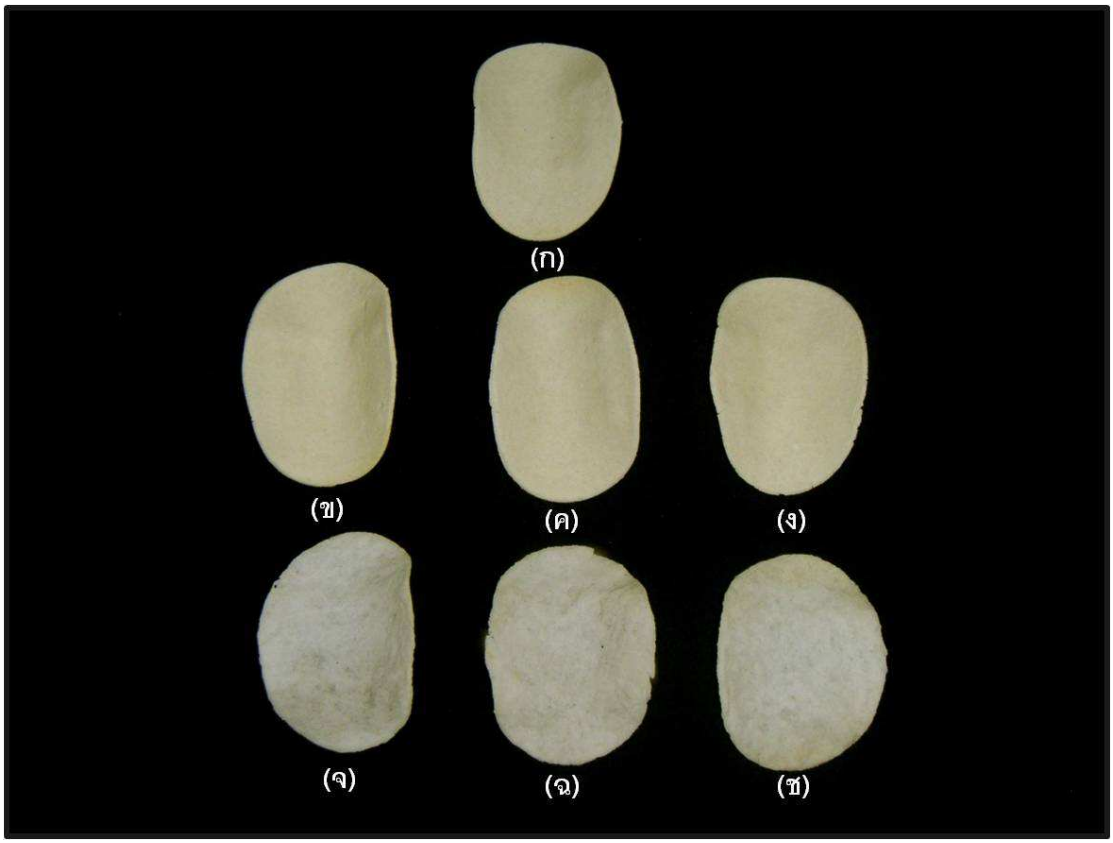


(ช)

ภาพที่ 4-1 ลักษณะ Birefringence จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของเม็ดแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธี Control (ก) B-15 (ข) B-30 (ค) B-45 (ง) DD-120 (จ) DD-130 (ฉ) DD-140 (ช)

1.3 ผลการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

เมื่อนำแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทุกตัวอย่าง มาเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบตามสูตรของวลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 (ตารางที่ 3-2) ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-2 พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด มีลักษณะพื้นผิวเรียบกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่



ภาพที่ 4-2 ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม (ก) ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธี B-15 (ข) B-30 (ค) B-45 (ง) DD-120 (จ) DD-130 (ฉ) และ DD-140 (ช)

จากการนำผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าสี ดังตารางที่ 4-5 พบว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าความสว่างน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แต่มีค่าความเข้มของสีมากกว่า ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจาก

แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีค่าความสว่างมากกว่าตัวอย่างควบคุม แต่มีค่าความเข้มของสีน้อยกว่า อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงสีเหลือง

ตารางที่ 4-5 ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มสี (C*) และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน[1]

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ค่าสี		
	L*	C*	h*
Control	76.19^{c}±0.74	21.44^{b}±0.11	85.35^{a}±0.49
B-15	75.75^{c}±0.31	21.17^{ab}±0.06	85.08^{a}±0.15
B-30	72.97^{d}±0.30	22.25^{ab}±0.15	83.70^{bc}±0.06
B-45	72.87^{d}±0.37	22.38^{a}±1.25	83.55^{c}±1.69
DD-120	81.61^{a}±0.64	6.55^{c}±0.06	85.21^{a}±0.07
DD-130	79.44^{b}±0.35	6.90^{c}±0.02	85.07^{a}±0.17
DD-140	78.74^{b}±0.61	6.96^{c}±0.02	84.85^{ab}±0.14

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างดังตารางที่ 4-6 พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีค่าความแตกเปราะสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าความแตกเปราะต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับเมื่อใช้อุณหภูมิบนผิวหน้า

ลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-6 ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน[1]

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ค่าความแตกเปราะ (นิวตัน)
Control	$3.13^{f}\pm0.02$
B-15	$3.21^{f}\pm0.02$
B-30	$3.70^{e}\pm0.06$
B-45	$3.90^{d}\pm0.06$
DD-120	$5.43^{c}\pm0.05$
DD-130	$6.84^{b}\pm0.09$
DD-140	$7.17^{a}\pm0.03$

[a, b, c,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

จากการนำผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 50 คน ด้วยวิธีทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale ดังตารางที่ 4-7 พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัสสูงกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ แต่มีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์

ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และคะแนนที่ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จึงเลือกวิธีการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า มาศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-7 ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

วิธีการเตรียมแป้ง	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความรู้สึกในปาก[1]	ความชอบโดยรวม
Control	6.84^{ab}±0.98	6.86^{ab}±1.11	4.68^{c}±1.15	3.62^{d}±1.96	4.62^{b}±1.93	3.22^{c}±1.43	4.12^{d}±1.21
B-15	7.06^{a}±1.13	6.98^{a}±0.86	5.34^{b}±1.02	5.08^{c}±1.05	4.70^{bc}±0.97	4.22^{b}±1.13	5.00^{c}±0.93
B-30	6.42^{b}±1.20	6.54^{ab}±1.45	5.42^{b}±0.86	5.24^{bc}±1.22	5.72^{a}±0.76	4.28^{b}±1.44	5.10^{c}±1.04
B-45	6.70^{ab}±1.34	6.44^{b}±1.40	5.08^{bc}±1.16	4.90^{c}±1.42	5.06^{b}±1.04	4.38^{b}±1.26	5.00^{c}±1.26
DD-120	4.12^{c}±1.48	4.16^{d}±1.46	5.40^{b}±1.40	5.70^{ab}±0.93	4.54^{bc}±1.01	5.68^{b}±0.71	5.54^{b}±1.07
DD-130	4.52^{c}±1.52	5.06^{c}±1.36	6.06^{a}±0.79	5.74^{a}±1.07	4.50^{c}±1.15	6.10^{a}±0.61	6.08^{a}±0.67
DD-140	4.24^{c}±1.27	4.80^{c}±0.83	6.26^{a}±0.75	6.02^{a}±0.71	4.48^{c}±1.85	6.16^{a}±0.65	6.10^{a}±0.46

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง ความรู้สึกหลังจากการทดสอบตัวอย่าง เช่น ความเป็นแป้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกคล้ายกับการรับประทานแป้งดิบ

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

นำแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เลือกได้จากการทดลองในตอนที่ 1 คือ แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส มาเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ และศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ โดยแปรปริมาณแป้งที่เป็นส่วนผสมหลักในการเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบได้แก่ แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 65-100 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเจ้า 0-20 เปอร์เซ็นต์ และแป้งข้าวโพด 0-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด วางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design) จะได้สูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ 9 สูตร โดยมีสูตรของ วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) (สูตรที่ 10) ที่ใช้เตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบในการทดลองตอนที่ 1 เป็นตัวอย่างควบคุม จากการวิเคราะห์ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมได้ดังตารางที่ 4-8 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีค่าสีแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมเพิ่มขึ้น โดยมีค่าความสว่างลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-8 ผลของปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด ต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน[1]

สูตร	ปริมาณแป้ง (เปอร์เซ็นต์)[2] JF : RF : CF	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ΔE
1	65.0 : 20.0 : 15.0	79.92^{a}±0.10	0.57^{f}±0.01	6.82^{c}±0.01	0.24±0.09
2	72.5 : 20.0 : 7.5	79.78^{ab}±0.25	0.60^{e}±0.01	6.85^{c}±0.01	0.31±0.07
3	75.0 : 10.0 : 15.0	79.45^{b}±0.09	0.62^{e}±0.01	6.88^{c}±0.02	0.15±0.02
4	80.0 : 20.0 : 0.0	77.55^{c}±0.07	0.64^{d}±0.01	7.16^{b}±0.02	2.07±0.21
5	82.5 : 10.0 : 7.5	77.48^{cd}±0.05	0.67^{c}±0.01	7.19^{b}±0.02	2.19±0.10
6	85.0 : 0.0 : 15.0	77.32^{cd}±0.22	0.70^{b}±0.01	7.20^{b}±0.06	2.60±0.45
7	90.0 : 10.0 : 0.0	77.27^{cd}±0.18	0.72^{b}±0.01	7.26^{b}±0.05	3.09±0.39
8	92.5 : 0.0 : 7.5	77.22^{cd}±0.11	0.72^{b}±0.01	7.29^{b}±0.01	3.04±0.28
9	100.0 : 0.0 : 0.0	77.14^{d}±0.12	0.75^{a}±0.01	7.83^{a}±0.22	3.46±0.41
10[3]	75.0 : 15.0 : 10.0	79.48^{b}±0.50	0.61^{e}±0.04	6.89^{c}±0.03	

$^{a, b, c,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

[2] หมายถึง เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมแป้งทั้งหมด

[3] หมายถึง สูตรควบคุม (วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน, 2549)

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนสูตรต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-3 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-9 ผลของปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด ต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน[1]

สูตร	JF : RF : CF	ค่าความแตกเปราะ (นิวตัน)
1	65.0 : 20.0 : 15.0	4.39^{f}±0.54
2	72.5 : 20.0 : 7.5	6.19^{e}±0.10
3	75.0 : 10.0 : 15.0	6.42^{de}±0.12
4	80.0 : 20.0 : 0.0	6.48^{de}±0.09
5	82.5 : 10.0 : 7.5	6.61^{d}±0.06
6	85.0 : 0.0 : 15.0	7.10^{c}±0.06
7	90.0 : 10.0 : 0.0	7.23^{bc}±0.04
8	92.5 : 0.0 : 7.5	7.54^{b}±0.06
9	100.0 : 0.0 : 0.0	8.38^{a}±0.20
10	75.0 : 15.0 : 10.0	6.70^{d}±0.08

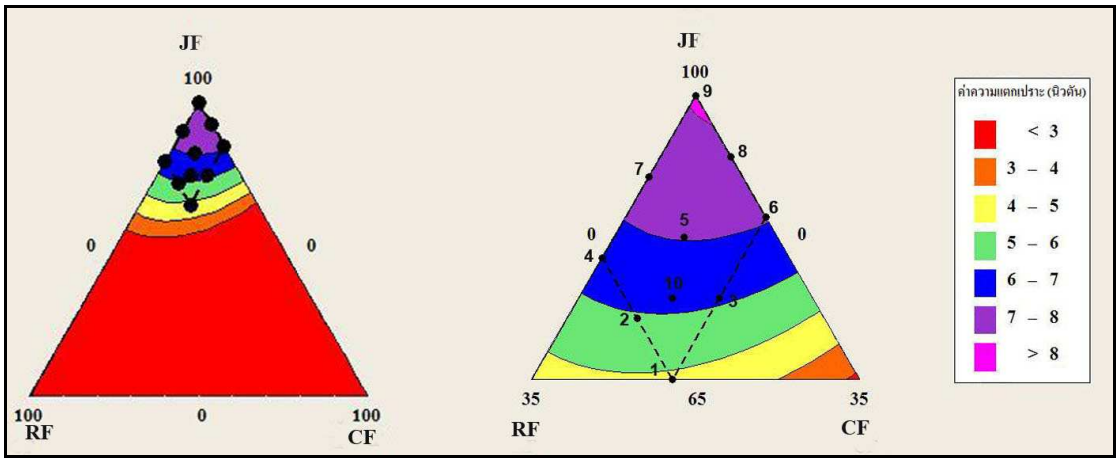
$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ (X_1) แป้งข้าวเจ้า (X_2) และ แป้งข้าวโพด (X_3) ต่อค่าความแตกเปราะ (Y) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน โดยการสร้างสมการรีเกรสชันสำหรับแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Regression) คือ $Y = \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_1X_2 + \beta_5X_1X_3 + \beta_6X_2X_3$ เมื่อ β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรแต่ละตัวในสมการ พบว่า สมการรีเกรสชันที่ได้คือ

$$0.0806X_1 - 0.133X_2 - 0.352X_3 + 0.00171X_1X_2 + 0.00433X_1X_3 + 0.00359X_2X_3$$

สมการรีเกรสชันข้างต้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.997 แสดงว่าเป็นสมการความสัมพันธ์ที่ใช้อธิบายค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนได้ 99.7 เปอร์เซ็นต์ โดยสมการให้ผลสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลอง กล่าวคือ เมื่อใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น แต่ใช้ปริมาณแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพดลดลง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจะมีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้น อิทธิพลของปัจจัยที่ทำการศึกษามีแนวโน้มแสดงดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 Contour Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ (JF) แป้งข้าวเจ้า (RF) และแป้งข้าวโพด (CF) ต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบสูตรต่าง ๆ

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนสูตรต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-10 พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกสูตรได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านรสชาติแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบสูตรที่ 1 - 5 ซึ่งใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 65.0 72.5 75.0 80.0 และ 82.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ตามลำดับ ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และคะแนนที่ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จึงเลือกสูตรที่ใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนสูงที่สุดคือ 82.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด มาศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-10 ผลของปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด ต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

สูตร	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ[ns]	เนื้อสัมผัส	ความรู้สึกในปาก[1]	ความชอบโดยรวม
1	6.12^{a}±0.77	5.66^{b}±1.08	5.80^{ab}±1.20	6.44±0.58	6.42^{a}±0.78	6.50^{a}±0.79	6.40^{ab}±0.90
2	6.26^{a}±1.52	5.66^{b}±1.69	5.84^{ab}±0.87	6.36±0.56	6.44^{a}±1.33	6.42^{a}±0.84	6.42^{ab}±1.03
3	6.38^{a}±1.35	5.88^{ab}±1.21	6.04^{a}±0.69	6.44±1.26	6.36^{a}±1.90	6.60^{a}±1.23	6.66^{a}±1.44
4	6.22^{a}±1.20	6.24^{a}±1.02	6.12^{a}±1.12	6.34±0.77	6.34^{a}±1.24	6.58^{a}±0.88	6.70^{a}±1.05
5	6.20^{a}±1.67	6.24^{a}±1.42	6.12^{a}±0.69	6.40±0.86	6.38^{a}±1.47	6.38^{ab}±0.92	6.64^{a}±1.35
6	6.08^{a}±1.29	5.96^{ab}±0.81	5.72^{ab}±0.97	6.32±0.77	5.70^{b}±1.79	6.08^{bc}±0.67	6.14^{b}±1.16
7	6.04^{a}±0.67	5.94^{ab}±0.89	5.78^{ab}±1.00	6.42±0.88	5.74^{b}±1.14	6.04^{c}±0.73	6.14^{b}±1.03
8	6.08^{a}±0.85	5.92^{ab}±0.92	5.70^{ab}±0.81	6.42±0.88	5.68^{b}±1.04	6.02^{c}±0.59	6.12^{b}±0.85
9	5.32^{b}±0.96	5.10^{c}±1.46	5.46^{b}±1.22	6.16±0.84	5.62^{b}±1.16	5.88^{c}±0.92	5.66^{c}±1.21
10	6.00^{a}±0.88	5.80^{ab}±1.01	5.84^{ab}±0.68	6.22±0.71	6.28^{a}±0.67	6.44^{a}±0.67	6.16^{b}±0.89

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

^{1} หมายถึง ความรู้สึกหลังจากการทดสอบตัวอย่าง เช่น ความเป็นแป้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกคล้ายกับการรับประทานแป้งดิบ

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาภาวะในการทำให้สุกที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

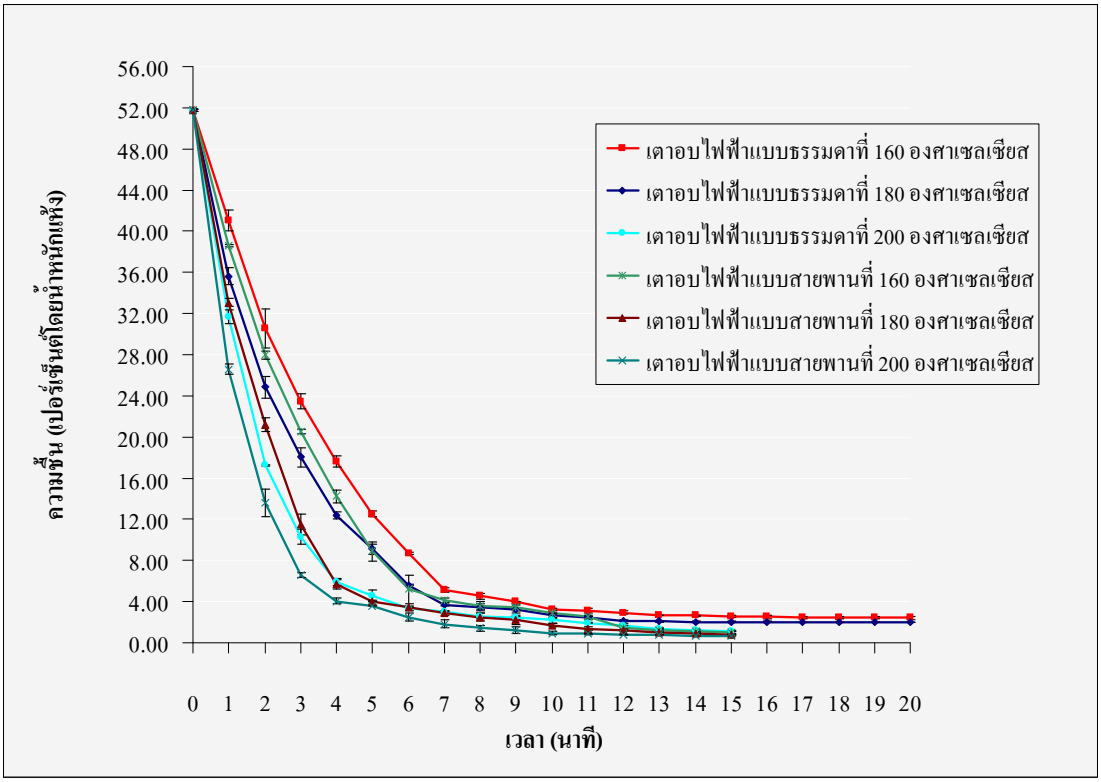
3.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4-4 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะใช้ระยะเวลาในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อให้มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ลดลง

3.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4-4 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะใช้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อให้มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ลดลงเช่นเดียวกับการใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อให้มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ระหว่างการใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน การอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานใช้ระยะเวลาในการอบน้อยกว่าการอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา



ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนจะได้ระยะเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-11 โดยพบว่า การอบผลิตภัณฑ์โดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบ 9 7 และ 5 นาที ตามลำดับ ส่วนการอบผลิตภัณฑ์โดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบ 8 5 และ 4 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่ออบผลิตภัณฑ์ด้วยเตาอบทั้งสองชนิด (6 การทดลอง) ตามระยะเวลาดังกล่าว พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4-11 ผลของภาวะในการอบต่อเวลาที่ใช้ในการอบ และความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	160	9	4.17±0.27
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	180	7	4.10±0.08
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	200	5	3.96±0.27
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	160	8	4.14±0.20
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	180	5	4.02±0.31
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	200	4	3.89±0.15

3.3 ผลการศึกษาภาวะในการอบที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาผลของภาวะในการอบต่อสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสี และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน ดังตารางที่ 4-12 พบว่า เตาอบทั้งสองชนิดให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีค่าความสว่าง และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีลดลง แต่มีค่าความเข้มของสีเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีมากที่สุดคือ 76.53 และ 86.02 ตามลำดับ แต่มีค่าความเข้มของสีน้อยที่สุดคือ 16.26

ตารางที่ 4-12 ผลของภาวะในการอบต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มของสี (C*) และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน[1]

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสี		
		L*	C*	h*
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	160	76.24[a]±0.14	16.74[e]±0.17	85.48[e]±0.17
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	180	73.41[c]±0.33	26.75[c]±0.23	84.80[c]±0.25
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	200	65.25[e]±0.18	31.91[a]±0.31	83.35[d]±0.12
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	160	76.53[a]±0.40	16.26[e]±0.42	86.02[a]±0.07
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	180	74.67[b]±1.06	25.51[d]±0.91	85.66[b]±0.07
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	200	69.28[d]±0.88	28.96[b]±0.37	83.54[d]±0.24

[a, b, c,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

[1] หมายถึง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบที่ภาวะต่าง ๆ ดังตารางที่ ตารางที่ 4-13 พบว่า เตาอบทั้งสองชนิดให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบผลิตภัณฑ์มีค่าความแตกเปราะลดลง โดยแผ่นกรอบที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกเปราะน้อยที่สุดคือ 3.54 นิวตัน

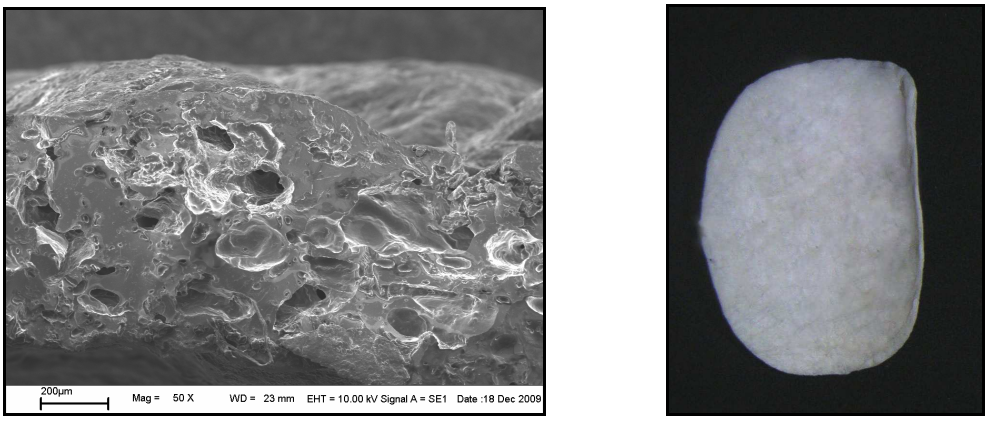
ตารางที่ 4-13 ผลของภาวะในการอบต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน[1]

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความแตกเปราะ (นิวตัน)
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	160	4.86^{a}±0.06
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	180	4.03^{bc}±0.05
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	200	3.89^{c}±0.08
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	160	4.16^{b}±0.13
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	180	3.94^{c}±0.02
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	200	3.54^{d}±0.11

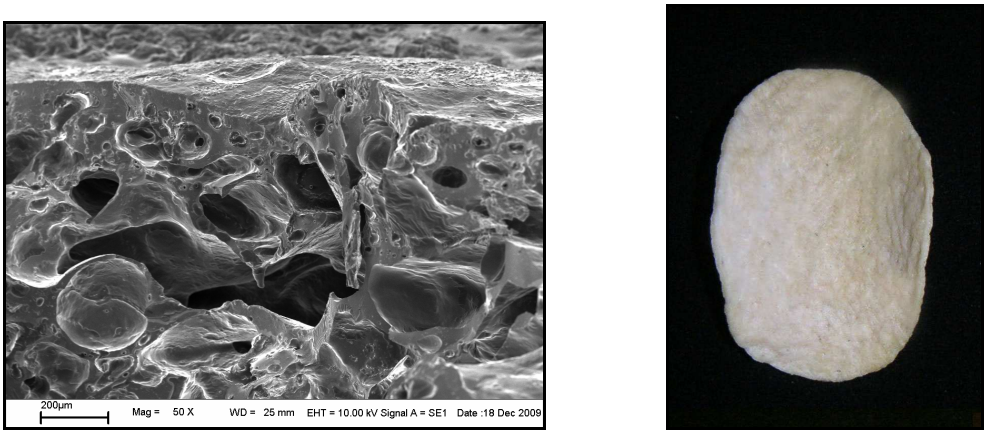
$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] หมายถึง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

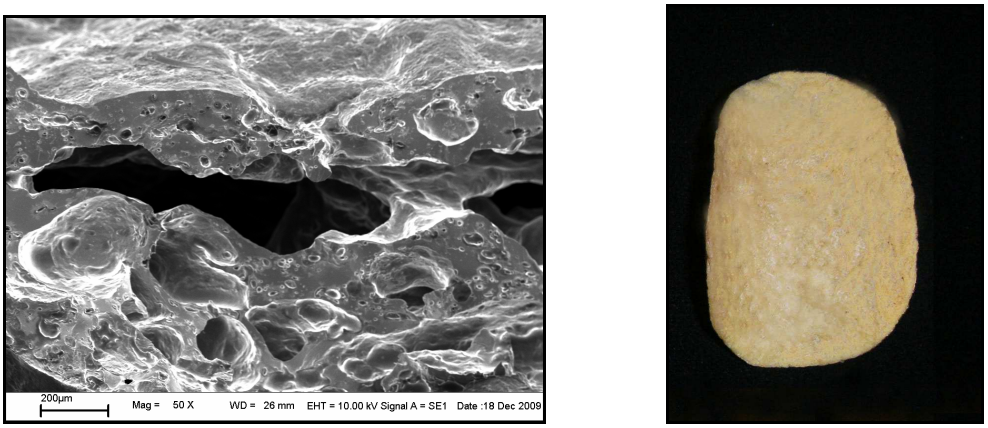
จากความต้องการตรวจสอบสมมติฐานที่ว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบเพิ่มสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่าความแตกเปราะลดลง เนื่องจาก เกิดเซลล์อากาศ และรอยแตกขนาดใหญ่ภายในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างไปศึกษาลักษณะของเซลล์อากาศโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลดังภาพที่ 4-5 ถึง ภาพที่ 4-7 พบว่า เป็นไปตามสมมติฐานคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีเซลล์อากาศขนาดใหญ่ขึ้นและมีการพองตัวเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากลักษณะพื้นผิวของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่มีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น



(ก)

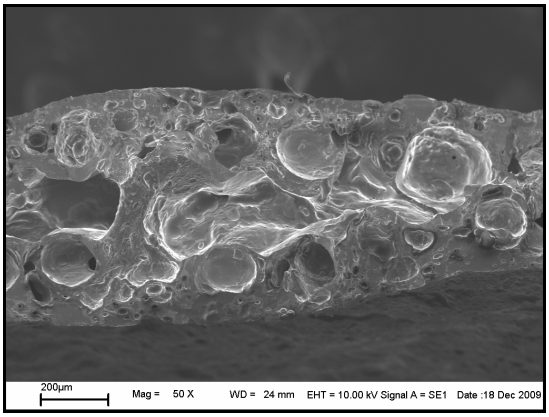


(ข)

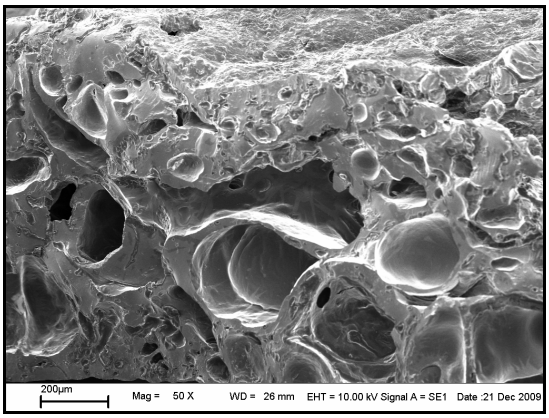


(ค)

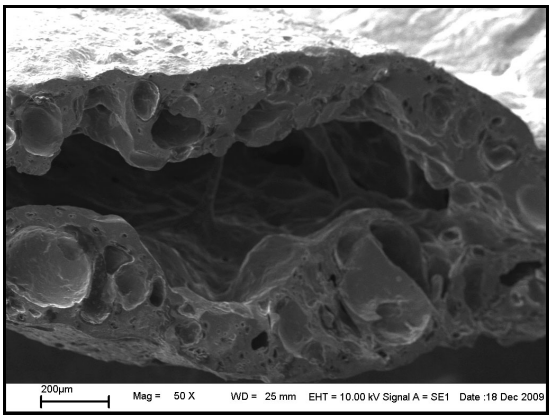
ภาพที่ 4-5 ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ก) 180 องศาเซลเซียส (ข) และ 200 องศาเซลเซียส (ค)



(ก)

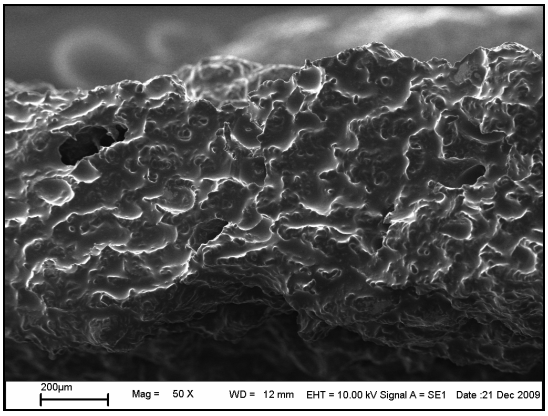


(ข)



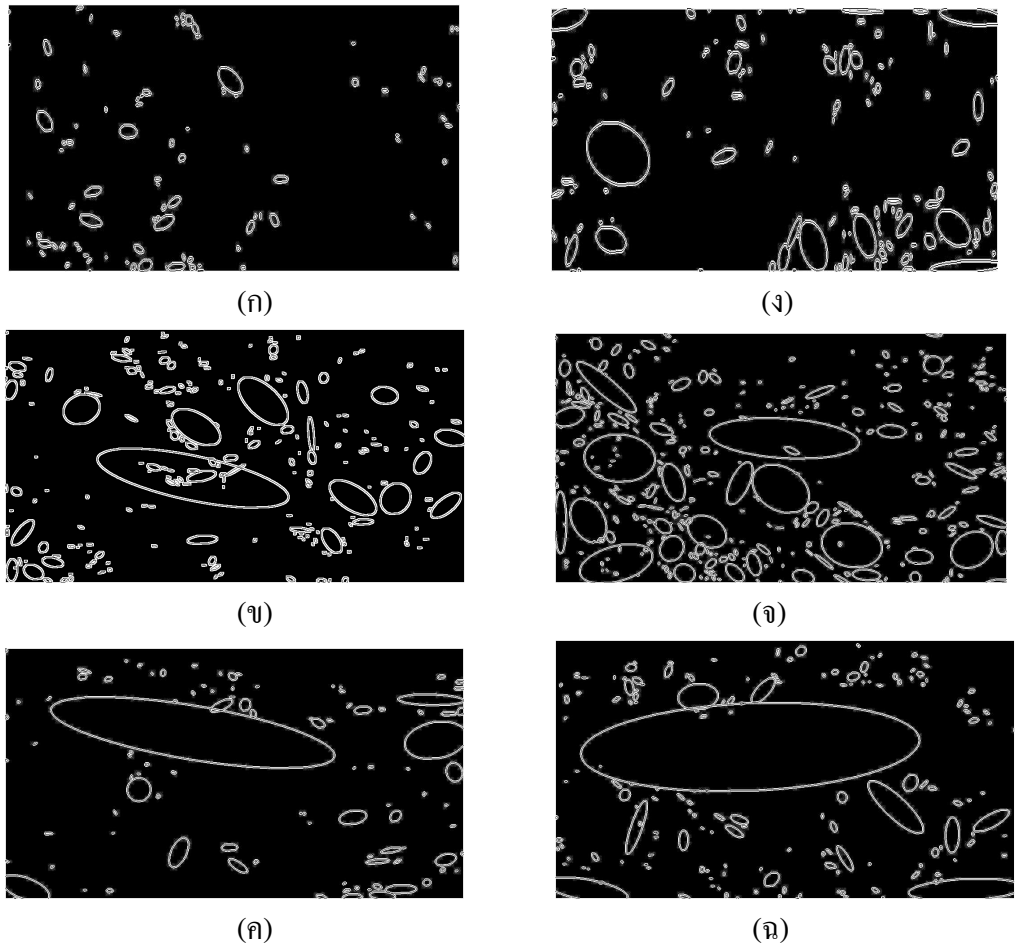
(ค)

ภาพที่ 4-6 ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ก) 180 องศาเซลเซียส (ข) และ 200 องศาเซลเซียส (ค)

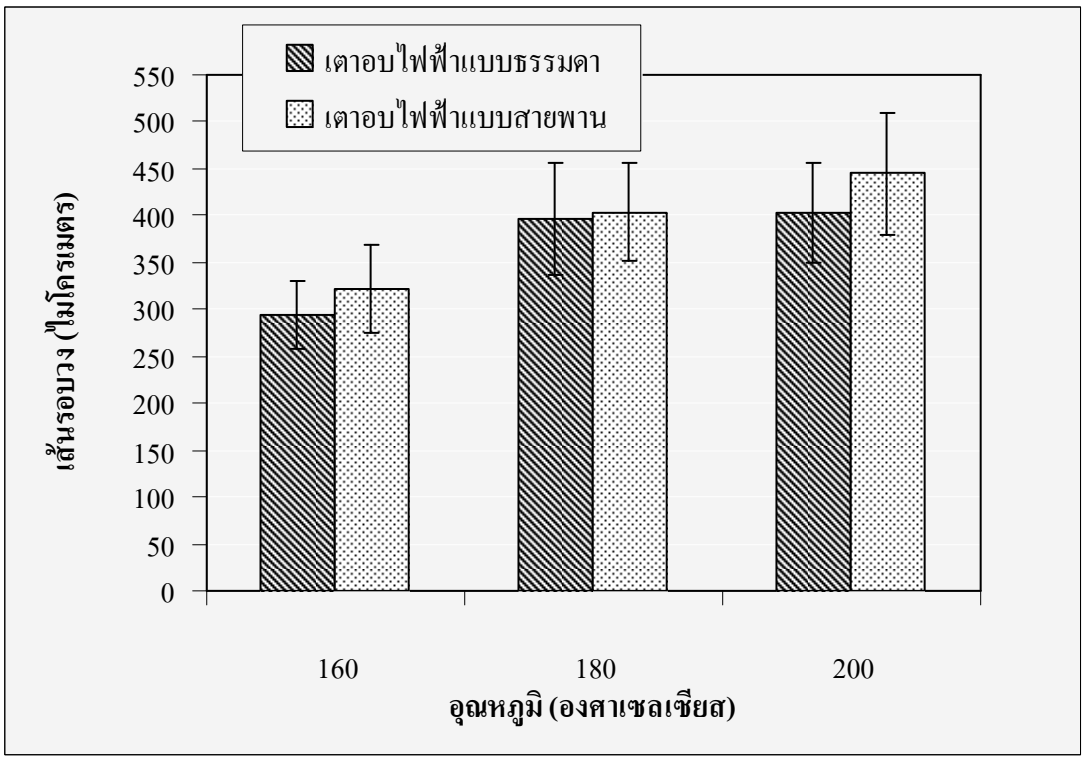


ภาพที่ 4-7 ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A

จากภาพตัดขวางที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างสามารถนำมาวิเคราะห์ลักษณะ และขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis) ได้ดังภาพที่ 4-8 ภาพที่ 4-9 และตารางภาคผนวก ฉ-1

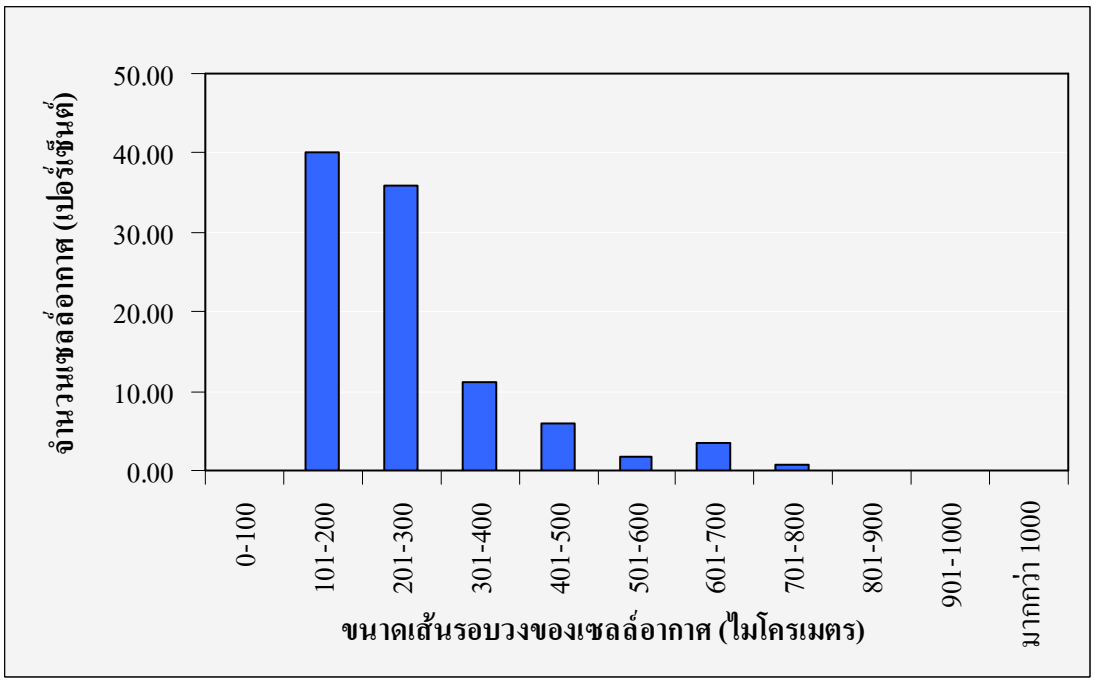


ภาพที่ 4-8 ลักษณะเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ก) 180 องศาเซลเซียส (ข) 200 องศาเซลเซียส (ค) และที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ง) 180 องศาเซลเซียส (จ) 200 องศาเซลเซียส (ฉ)

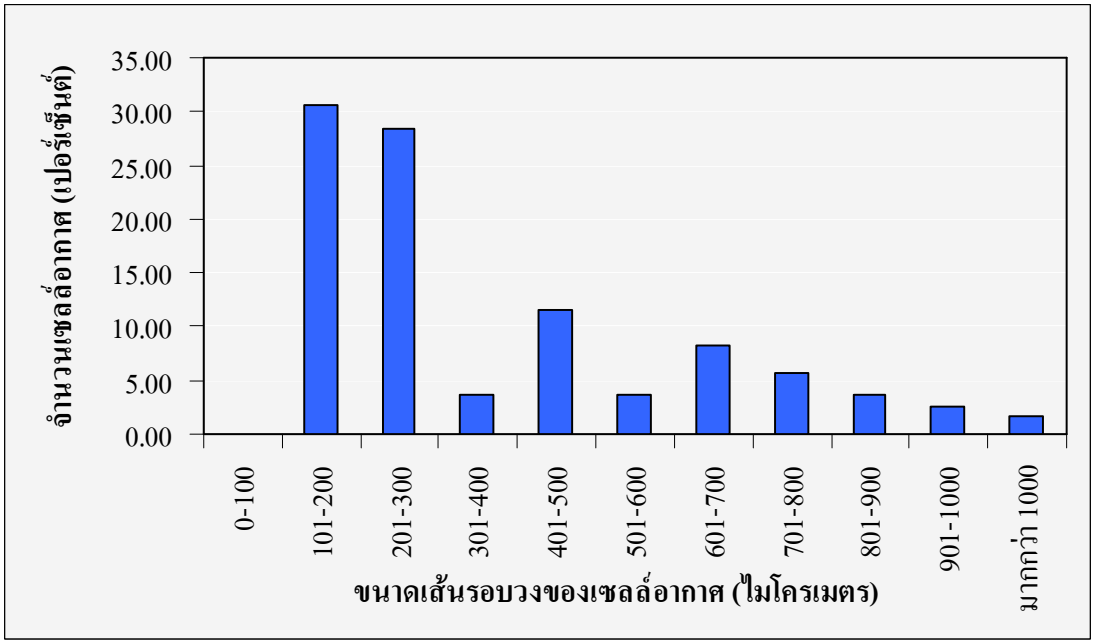


ภาพที่ 4-9 ขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาและเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส

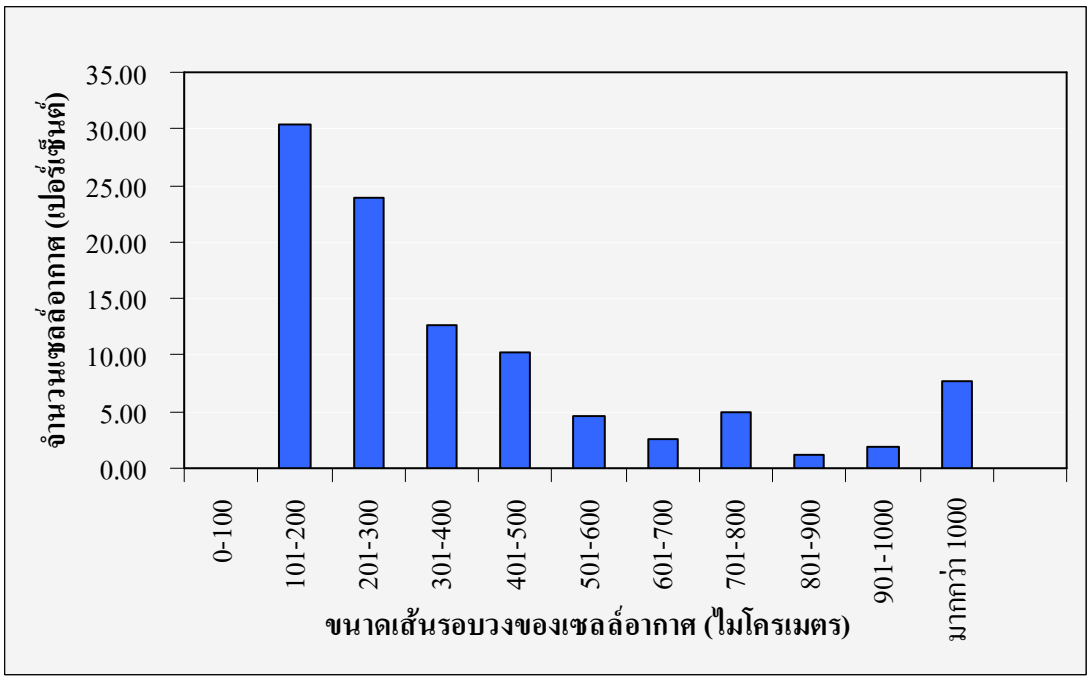
จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4-10 ถึง ภาพที่ 4-15 และตารางภาคผนวก ฉ-2 พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 101-200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามการอบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะพบเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่กว่า 1000 ไมโครเมตร และจะพบมากขึ้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยเตาอบทั้งสองชนิดให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน



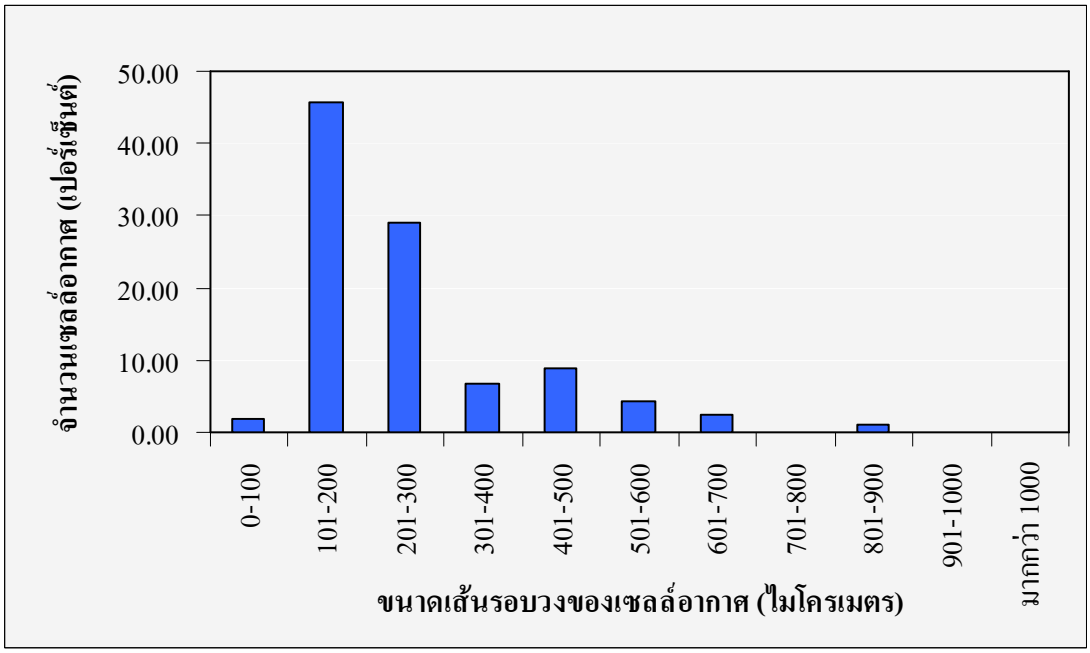
ภาพที่ 4-10 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส



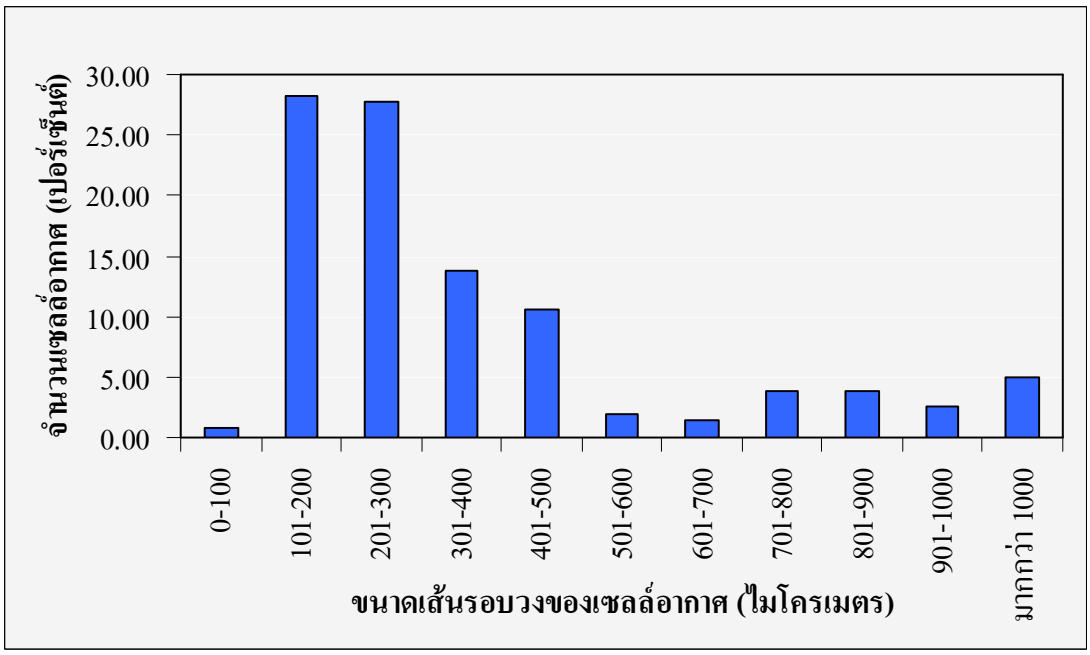
ภาพที่ 4-11 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส



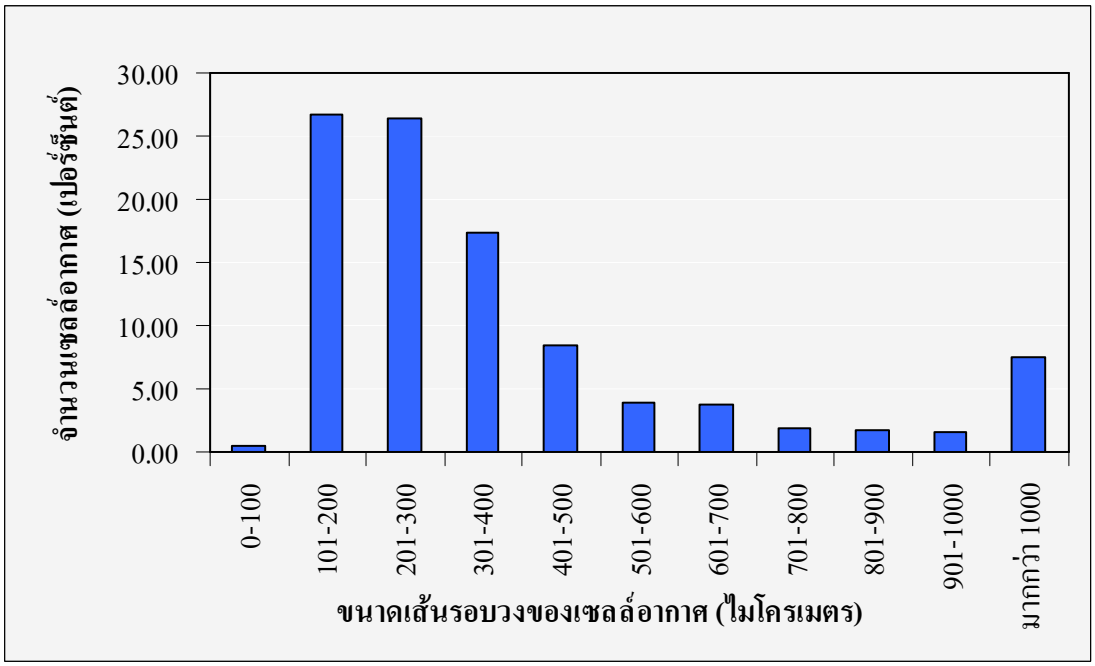
ภาพที่ 4-12 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-13 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-14 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-15 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4-14 พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านรสชาติ และความรู้สึกในปาก แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุดคือ 7.10 คะแนน จึงนำผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบที่ภาวะดังกล่าวมาศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-14 ผลของภาวะในการอบต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความรู้สึกในปาก$^{ns\ 1}$	ความชอบโดยรวม
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	160	6.12^{bc}±0.80	5.66^{c}±0.92	6.26^{ab}±0.96	6.02±0.51	6.72^{b}±1.05	6.62±0.70	6.30^{b}±0.71
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	180	7.04^{a}±0.92	7.18^{a}±0.66	6.54^{a}±0.97	6.54±0.73	7.40^{a}±0.86	7.10±0.58	7.10^{a}±0.61
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	200	6.22^{b}±0.95	6.24^{b}±1.12	5.64^{cd}±0.85	6.04±0.75	6.76^{b}±0.98	6.54±0.65	6.16^{b}±0.74
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	160	5.42^{d}±1.14	5.08^{d}±1.28	5.24^{d}±1.02	5.76±0.67	5.80^{c}±1.29	6.54±0.71	5.44^{c}±1.16
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	180	5.74^{cd}±1.48	5.92^{bc}±1.34	6.04^{bc}±1.47	6.30±0.81	6.14^{c}±1.37	7.00±0.64	6.28^{b}±1.28
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	200	5.68^{cd}±1.11	5.58^{c}±1.07	5.74^{c}±1.16	5.88±0.72	6.64^{b}±0.98	6.46±0.65	6.22^{b}±1.15

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

^{1} หมายถึง ความรู้สึกหลังจากการทดสอบตัวอย่าง เช่น ความเป็นแป้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกคล้ายกับการรับประทานแป้งดิบ

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A และ B ดังตารางที่ 4-15 และตารางที่ 4-16 พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีค่าสีและค่าความแตกเปราะ ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า และมีปริมาณโปรตีน ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำใกล้เคียงกับแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการเตรียมผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมัน และพลังงานลดลง 78.33-79.21 เปอร์เซ็นต์ และ 23.60-24.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า

ตารางที่ 4-15 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A และ B

คุณภาพทางกายภาพ	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า B
ค่า L*	73.41±0.33	72.74±0.81	71.99±0.51
ค่า C*	26.75±0.23	27.71±1.10	28.25±0.72
ค่า h*	84.80±0.25	85.08±0.53	85.00±0.86
ค่าความแตกเปราะ	4.03±0.05	3.97±0.17	4.08±0.15

ตารางที่ 4-16 คุณภาพทางเคมีของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A และ B

คุณภาพทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า B
ความชื้น	8.04±0.22	4.13±0.11	3.76±0.28	3.96±0.08
โปรตีน[1]	4.03±0.11	4.26±0.04	6.70±0.21	6.03±0.35
ไขมัน	0.07±0.02	7.47±0.14	34.47±0.19	35.93±0.43
เถ้า	0.49±0.07	1.95±0.12	2.71±0.21	3.00±0.01
คาร์โบไฮเดรต	95.41±0.07	86.31±0.10	56.13±0.06	55.03±0.17
ใยอาหารทั้งหมด	0.62±0.03	0.93±0.10	3.87±0.22	3.38±0.28
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	0.51±0.02	0.73±0.03	2.93±0.07	2.53±0.17
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	0.11±0.03	0.20±0.12	0.94±0.26	0.85±0.14
พลังงาน (กิโลแคลอรี)[2]	4.00±0.00	4.37±0.01	5.72±0.01	5.80±0.02

หมายเหตุ [1] หมายถึง Conversion Factor = 5.70

[2] หมายถึง พลังงานต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 1 กรัม

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

จากผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

1.1 การเตรียมแป้งเมล็ดขนุน

จากการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่ได้จากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐ อายุการเก็บเกี่ยว 120-135 วัน พบว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด มีลักษณะเนื้อเนียนละเอียดสีขาวอมเหลือง ส่วนแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีลักษณะเนื้อเนียนละเอียดสีขาว เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตแป้งที่ได้ (% Yield) เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด ของแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4-1) พบว่า วิธีการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทั้งสองวิธีให้ปริมาณผลผลิตแป้งที่ได้แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้สูงที่สุดคือ 39.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด โดยได้ผลใกล้เคียงกับผลการศึกษาของกรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา (2549) และพิทักษ์ ไชยแสง (2547) ซึ่งได้ผลผลิตของแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐอยู่ในช่วง 38.5 - 40.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด และใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Tulyathan et al. (2002) ซึ่งได้ผลผลิตของแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ 36.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด แต่ต่ำกว่าผลการศึกษาของ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ (2544) ซึ่งได้ผลผลิตของแป้งเมล็ดขนุนจากเมล็ดขนุนพันธุ์ขนุนหนังประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด โดยปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกันนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน ความแตกต่างของสายพันธุ์ ความแก่อ่อนของขนุน รวมถึงส่วนประกอบ ของเมล็ดขนุนเช่น เยื่อหุ้มสีขาวครีม และ

เยื่อสีน้ำตาล เป็นต้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือด และวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่าวิธีการต้มเมล็ดขนุนในน้ำเดือดให้ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์สูงกว่าวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 36.54-37.94 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด เนื่องจาก แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้จากวิธีการต้มเมล็ดขนุนในน้ำเดือดเป็นแป้งที่ได้จากการใช้เมล็ดขนุนทั้งเมล็ดที่ขจัดเพียงส่วนของเยื่อหุ้มสีขาวครีม และเยื่อสีน้ำตาลออกเท่านั้น ในขณะที่แป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เป็นแป้งที่ได้จากการนำน้ำแป้งซึ่งนอกจากจะขจัดส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มสีขาวครีม และเยื่อหุ้มสีน้ำตาลออกไปแล้ว ยังมีการขจัดส่วนที่เป็นชั้นสีน้ำตาลที่พบในขั้นตอนการตกตะกอนน้ำแป้ง ซึ่งประกอบด้วยเปลือก เส้นใย และผนังเซลล์บางส่วน (สิรินาถ ตัณฑเกษม, 2542) ออกก่อนนำมาเตรียมเป็นแป้งพรีเจลาทิไนซ์

เมื่อพิจารณาผลการทดลองเป็นสองส่วน ได้แก่ แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนในน้ำเดือด และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่พบว่า ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนในน้ำเดือดมีค่าต่ำกว่าปริมาณแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าผลผลิตที่ได้ลดลงเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเม็ดแป้งภายในเมล็ดขนุนเกิดการกระจายตัวออกมาได้มากขึ้น จึงทำให้เม็ดแป้งบางส่วนสูญเสียไปในระหว่างการต้ม ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่าลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Wang, Lewis, Brennan, and Westby (1997) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาต้มเมล็ดถั่วในน้ำเดือดเพิ่มขึ้น จะเกิดการกระจายตัวของเม็ดแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในเมล็ดถั่วออกมาเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาในส่วนของแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนต่ำที่สุดคือ 17.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด อาจเป็นผลเนื่องมาจากที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส แผ่นแป้งที่ฉาบอยู่บนผิวหน้าของลูกกลิ้งยังคงมีความชื้นสูง และแห้งได้ช้า จึงเกาะติดกันเป็นก้อนบริเวณใบมีด ทำให้สูญเสียแป้งมาก (สายสนม ประดิษฐดวง, 2534) ทั้งนี้เมื่อระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 130 องศาเซลเซียส ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส 2.15 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 140 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากแผ่นแป้งมีสีเหลืองเข้ม ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งสูงเกินไป อย่างไร

ก็ตามที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 130 และ 140 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

1.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือด และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (ตารางที่ 4-2) พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือดมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 88.36-88.79 ซึ่งน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความสว่างเท่ากับ 89.81 และมีค่าความเป็นสีแดงอยู่ในช่วง 0.53-0.71 ค่าความเป็นสีเหลืองอยู่ในช่วง 10.88-13.25 ซึ่งมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (แป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเท่ากับ 0.29 และ 0.42 ตามลำดับ) โดยเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้จะมีค่าความสว่างลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ สำหรับแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่ามีค่าความสว่างมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 92.07-91.50 และมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.08-0.24 และ 6.47-6.83 ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เป็นการนำส่วนของน้ำแป้งที่มีการขจัดส่วนที่เป็นสีน้ำตาล ซึ่งประกอบด้วยเปลือก เส้นใย และผนังเซลล์บางส่วนออกไป ส่งผลให้แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้มีค่าความสว่างมากกว่าตัวอย่างควบคุม และมีค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลืองต่ำกว่า โดยเมื่อใช้อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งสูงขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์ ที่ได้จะมีค่าความสว่างลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความขาวพบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับค่าความสว่างคือ แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าดัชนีความขาวน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 82.35-84.37 ส่วนแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีความขาวมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 89.10-89.77

สำหรับผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน (ตารางที่ 4-3) พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีค่า

ดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจาก โดยปกติเม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) ประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพกทิน ที่ถูกสร้างออกไปตามแนวรัศมีของเม็ดแป้งจากจุดไฮลัม สู่ขอบเม็ดแป้ง ภายในจะประกอบด้วยบริเวณของชั้นผลึก (Crystalline) สลับกับชั้นอสัณฐาน (Amorphous) บริเวณอสัณฐานเกิดจากส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพกทินที่มีพันธะ α-1, 6 อยู่มาก ส่วนบริเวณผลึกเกิดจากการรวมตัวของสายกิ่งขนานกันไปตามโครงสร้างคลัสเตอร์ของอะไมโลเพกทิน โดยมีอะไมโลสแทรกอยู่ในอะไมโลเพกทิน การจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลอะไมโลเพกทินออกไปตามแนวรัศมีภายในเม็ดแป้งที่มีทั้งส่วนผลึกและอสัณฐานสลับเป็นชั้นกันไปเช่นนี้ จึงทำให้สามารถมองเห็นปรากฏการณ์การหักเหของแสงสองแนว หรือ Birefringence ของเม็ดแป้งได้ ดังภาพที่ 4-1 (ก) การหักเหของแสงสองแนวที่มองเห็นจะปรากฏเป็นกากบาทไขว้สีดำ (Maltese Cross) ตัดกันที่จุดไฮลัมของเม็ดแป้ง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งอย่างเป็นระเบียบ (วรรณา ตุลยธัญ, 2549) แต่เมื่อแป้งเมล็ดขนุนซึ่งมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์อยู่ในช่วง 73-81 องศาเซลเซียส (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, 2546; Tulyathan et al., 2002) ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งโดยเริ่มที่บริเวณอสัณฐานก่อน น้ำจะเข้าสู่ภายในเม็ดแป้งได้มากขึ้น เม็ดแป้งเกิดการขยายใหญ่ขึ้น สำหรับแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดเป็นเวลา 15 นาที เม็ดแป้งส่วนใหญ่ มีขนาดอยู่ในช่วง 2.5-25.0 ไมโครเมตร ดังตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-1 (ข) เมื่อให้ความร้อนต่อไปเป็นระยะเวลานานขึ้น หรือระดับอุณหภูมิที่ใช้เพิ่มขึ้น จะมีผลให้เกิดการหลอมละลายบริเวณผลึกภายเม็ดแป้ง เม็ดแป้งจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้น จนเม็ดแป้งขยายเต็มที่ และความมีระเบียบของโครงสร้างภายในถูกทำลายหมดไป ดังภาพที่ 4-1 (ค) ถึง 4-1 (ช) จึงกล่าวได้ว่า การเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้ง คือ กระบวนการที่ทำลายอันดับ (Order) โมเลกุล หรือระเบียบโมเลกุลภายในเม็ดแป้ง เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติแบบไม่ผันกลับ ได้แก่ การขยายขนาดของเม็ดแป้ง การหลอมละลายผลึก การเสียการหักเหสองแนว (Loss of Birefringence) และเกิดการละลายของแป้ง (วรรณา ตุลยธัญ, 2549) ด้วยเหตุผลดังกล่าว แป้งพรีเจลาทิไนซ์จึงสามารถดูดซับน้ำและละลายได้ดีกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม สอดคล้องกับรายงานของ Lai (2001) ซึ่งพบว่า แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทิไนซ์มีดัชนีการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำสูงกว่าแป้งดิบ อย่างไรก็ตาม แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีดัชนีการละลายน้ำ อยู่ในช่วง 3.00-4.74 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีการดูดซับน้ำ 2.88-3.87 (กรัมต่อกรัม) และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 16.70-30.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้ง

แบบลูกกลิ้งคู่ที่มีดัชนีการละลายน้ำอยู่ในช่วง 18.47-21.35 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีการดูดซับน้ำ 10.75-12.01 กรัมต่อกรัม และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 80.79-88.96 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก ความสามารถในการละลาย การดูดซับน้ำ และการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ปริมาณน้ำ หรือความชื้น และอุณหภูมิ รวมถึงความสามารถในการแพร่ของน้ำเข้าไปก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดพืชในกรณีที่มีการนำเมล็ดพืชนั้นไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน (Fang & Chinnan, 2004) ซึ่งการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์โดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด เป็นการนำเมล็ดขนุนที่ประกอบไปด้วยเยื่อหุ้มสีขาว และเยื่อสีน้ำตาล มาต้มกับน้ำ ในอัตราส่วนเมล็ดขนุน 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 4 ลิตร การแพร่ของน้ำจากภายนอกเข้าสู่ภายในเมล็ดเพื่อไปก่อให้เกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดขนุนจึงเป็นไปได้ยากกว่าวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่เป็นการนำน้ำแป้งความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง มาผ่านกระบวนการเจลาทิไนเซชัน โดยสัมผัสพื้นผิวของลูกกลิ้งโดยตรงที่อุณหภูมิสูงถึง 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจาก การใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เยื่อหุ้มสีขาวครีม และเยื่อสีน้ำตาลบางส่วนหลุดลอกออกจากเมล็ดขนุน น้ำจากภายนอกจึงสามารถเข้าไปก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดได้มากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Beleia, Butarelo, and Silva (2006) ซึ่งพบว่า การต้มมันสำปะหลังสายพันธุ์ IAPAR-19 Pioneira อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน ในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 63.8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 98 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นจาก 3 นาที เป็น 12 นาที เช่นเดียวกับเมื่อใช้อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น แป้ง พรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัวลง หมู่ไฮดรอกซิลภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งจึงสามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้แป้งเกิดเจลาทิไนซ์ได้มากขึ้น อีกทั้งสามารถดูดซับน้ำ และละลายน้ำได้มากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Yadav, Guha, Tharanthan, and Ramteke (2006) ซึ่งได้ศึกษาผลของอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อสมบัติการละลายของแป้งมันเทศพบว่า เมื่อระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น แป้งมันเทศจะมีดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส แป้งมันเทศมีดัชนีการละลายน้ำเท่ากับ 43.1 เปอร์เซ็นต์

1.3 การเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

เมื่อนำแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่าง มาเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบตามสูตรของวลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) (ภาพที่ 4-2) พบว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด มีลักษณะพื้นผิวเรียบกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และจากการนำผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมาวิเคราะห์ ค่าสี (ตารางที่ 4-5) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 72.87-75.75 ซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม ที่มีค่าความสว่างเท่ากับ 76.19 แต่มีค่าความเข้มของสีมากกว่าโดยมีค่าอยู่ในช่วง 21.17-22.38 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีค่าความสว่างมากกว่าตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 78.84-81.61 แต่มีค่าความเข้มของสีน้อยกว่าโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.55-6.96 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก สีที่แตกต่างกันของแป้งที่ใช้ในการเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบดังที่ได้อธิบายในข้อ 1.2 อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงสีเหลือง

สำหรับการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะหรือ ค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดการแตกหัก (Acosta & Moreira, 1997) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่าง (ตารางที่ 4-6) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ทุกตัวอย่างมีค่าความแตกเปราะสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเป็นผลเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าตัวอย่างควบคุม จึงต้องใช้แรงในการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกหักมากกว่า ดังนั้นผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์จึงมีค่าความแตกเปราะสูงกว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าความแตกเปราะต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เนื่องจาก แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ต่ำกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เมื่อนำเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจึงมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเม็ดแป้งเกาะกันอย่างหลวม ๆ ส่งผลให้มีค่าความแตกเปราะต่ำกว่า ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับเมื่อใช้อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น

ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการนำผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 50 คน ด้วยวิธีทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale (ตารางที่ 4-6) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส สูงกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ทำจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ และมีสีเหลืองใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้ามากกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ทำจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ แต่มีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เนื่องจากกลุ่มผู้ทดสอบมีความรู้สึกว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ทำจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด มีลักษณะกลิ่นรส และรสชาติคล้ายแป้งดิบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวในปากจะกระด้าง เป็นเม็ด ๆ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมสูงที่สุดคือ 6.08 และ 6.10 คะแนนตามลำดับ และคะแนนที่ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) จึงเลือกวิธีการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า มาศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการนำแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เลือกได้จากการทดลองในตอนที่ 1 มาเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ และศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์

แผ่นกรอบโดยวิเคราะห์ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่าความแตกต่างของสี ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมได้ (ตารางที่ 4-8) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีค่าสีแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมเพิ่มขึ้น โดยมีค่าความสว่างลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากค่าสีของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ โดยจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีค่าความสว่างเท่ากับ 91.67 ซึ่งน้อยกว่าค่าความสว่างของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด ที่มีค่าเท่ากับ 94.78 และ 93.48 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนสูตรต่าง ๆ (ตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-3) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจาก การใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น การทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดการแตกหักจึงต้องใช้แรงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีค่าความแตกเปราะสูงขึ้น และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ แป้งข้าวเจ้า และ แป้งข้าวโพดต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยการสร้างสมการรีเกรสชันสำหรับแผนการทดลองแบบผสม สมการรีเกรสชันที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.997 แสดงว่าเป็นสมการความสัมพันธ์ที่ใช้อธิบายค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนได้ 99.7 เปอร์เซ็นต์ โดยสมการให้ผลสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลอง กล่าวคือ เมื่อใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น แต่ใช้ปริมาณแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพดลดลง ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจะมีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้น

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนสูตรต่าง ๆ (ตารางที่ 4-10) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนทุกสูตรได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านรสชาติแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบสูตรที่ 9 ซึ่งใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมน้อยที่สุด อาจเป็นผลเนื่องมาจาก ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด มีโครงสร้างเจลที่แข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบตัวอย่างอื่น อีกทั้งเป็นสูตรที่ไม่มีส่วนประกอบที่ช่วยในการขึ้นรูปเช่น แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด ส่งผลให้โดที่ใช้เตรียมผลิตภัณฑ์มีการหดตัวค่อนข้างมาก รีดเป็นแผ่นเรียบได้ยาก

ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้จึงมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมาก และมีรูปร่างไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏจึงน้อยตามไปด้วย และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่นำมาใช้เตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเป็นแป้งที่มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 85.07 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4-3) แสดงว่า บางส่วนของแป้งที่นำมาใช้ (14.93 เปอร์เซ็นต์) ยังคงมีลักษณะของแป้งดิบเหลืออยู่ ดังนั้นการใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด อาจส่งผลให้ผู้ทดสอบรู้สึกถึงกลิ่นรสของแป้งดิบที่เป็นลักษณะเฉพาะของแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์ได้ และจากการที่ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด มีโครงสร้างเจลที่แข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบตัวอย่างอื่นดังกล่าวข้างต้น ผลิตภัณฑ์จึงมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง สังเกตได้จากค่าความแตกเปราะที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนต่ำกว่า (ตารางที่ 4-9) อีกทั้งให้ความรู้สึกในปากคล้ายกับการรับประทานเจลแป้งที่แข็ง และเหนียว จึงอาจส่งผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความรู้สึกในปากน้อยกว่าตัวอย่างอื่น และจากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมน้อยตามไปด้วย นอกจากนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบสูตรที่ 1- 5 (ใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน 65.0 72.5 75.0 80.0 และ 82.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ตามลำดับ) ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และคะแนนที่ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จึงเลือกสูตรที่ใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนสูงที่สุดคือ 82.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด มาศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 3 ศึกษาภาวะในการทำให้สุกที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

3.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-4) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะใช้ระยะเวลาในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อให้มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ลดลงคือ 9 7 และ 5 นาที

ตามลำดับ เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิสูงผลิตภัณฑ์จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเร็วกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นเมื่ออบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นจึงใช้เวลาในการอบลดลง

3.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-4) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะใช้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อให้มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ลดลงเช่นเดียวกับการใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบคือ 8 5 และ 4 นาที ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิเดียวกัน การอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน ใช้ระยะเวลาในการอบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีความชื้นอยู่ในระดับที่ต้องการ น้อยกว่าการอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา อาจเป็นผลเนื่องมาจาก ประสิทธิภาพ และลักษณะที่แตกต่างกันของเตาอบทั้งสองชนิด กล่าวคือ การอบโดยเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดามีกำลังไฟเพียง 1500 วัตต์ และเป็นการอบโดยที่ผลิตภัณฑ์และอากาศภายในเตาอบอยู่นิ่งกับที่ ในขณะที่เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานมีกำลังไฟสูงถึง 6300 วัตต์ และเป็นการอบโดยที่ผลิตภัณฑ์และอากาศที่อยู่รอบ ๆ ผลิตภัณฑ์มีการเคลื่อนที่ อีกทั้งมีพัดลมภายในเตาอบที่ช่วยในการกระจายความร้อน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เข้าสู่สมดุล หรือมีระดับความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการได้เร็วกว่าการอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา อย่างไรก็ตามเมื่ออบผลิตภัณฑ์ตามระยะเวลาดังกล่าวข้างต้น (ตารางที่ 4-11) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีค่าความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงอบผลิตภัณฑ์ตามระยะเวลาดังกล่าว แล้วนำมาประเมินคุณภาพในขั้นตอนต่อไป

3.3 การศึกษาภาวะในการอบที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาผลของภาวะในการอบต่อสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสี และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน (ตารางที่ 4-12) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างมากที่สุด (76.53) แต่มีค่าความเข้มของสีน้อยที่สุด (16.26) ทั้งนี้การอบโดยใช้เตาอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่างลดลง และมีความเข้มของสีเพิ่มขึ้น โดยงานวิจัยของ Dogan (2006) รายงานว่า สีที่พื้นผิว (Surface Color) ของบิสกิต มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาในการอบ โดยคุณภาพของบิสกิตและเวลาที่ใช้ในการ

อบจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการออกแบบของเตาอบ และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เช่น อุณหภูมิ ดังนั้นจึงควรเลือกชนิดของเตาอบ และควบคุมภาวะในการอบให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงสีเหลือง

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบที่ภาวะต่าง ๆ (ตารางที่ 4-13) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกเปราะน้อยที่สุดคือ 3.54 นิวตัน และจากการทดลองพบว่า การอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทั้งสองวิธีให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้จะมีค่าความแตกเปราะลดลง หมายถึง ใช้แรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดการแตกหักลดลง เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เกิดเซลล์อากาศและรอยแตกขนาดใหญ่ในระหว่างการอบ (Kayacier & Sigh, 2003) (ภาพที่ 4-5 ถึงภาพที่ 4-6) อีกทั้งการอบที่อุณหภูมิสูง (180 และ 200 องศาเซลเซียส) ยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวได้มากกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำ (160 องศาเซลเซียส) สังเกตได้จากพื้นผิวของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบที่อุณหภูมิสูงจะมีความขรุขระมากกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากเกิดเซลล์อากาศขนาดใหญ่ภายในโครงสร้าง ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีลักษณะขรุขระกว่าพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่อบที่อุณหภูมิต่ำกว่า จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแตกเปราะลดลง หรือกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์เกิดการแตกหักได้ง่ายขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ระหว่างผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน และผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า (ภาพที่ 4-7) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้ามีการกระจายตัวของเซลล์อากาศ และการพองตัวที่ค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่าแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการเตรียมที่แตกต่างกันกล่าวคือ ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้าทำให้สุกโดยวิธีการทอด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน ทำให้สุกโดยวิธีการอบ ทั้งนี้ McDonald, Seetharaman, Waniska, and Rooney (1996) รายงานว่า เมื่อนำ Tortilla chip ที่ทำจากแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักซึ่งผ่านการอบในเตาอบแบบใช้แก๊สที่อุณหภูมิ 190-200 องศาเซลเซียส ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ปรากฏลักษณะของเม็ดแป้ง (Flour Granule) มีลักษณะพองขึ้นและเว้าลงตรงกลางซึ่งแสดงว่าเม็ดแป้งเกิดการเจลาทิไนซ์ขึ้นหลังจากได้รับความร้อน โดยนอกจากเม็ดแป้งที่เกิดเจลาทิไนซ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยมีลักษณะเว้าลงตรงกลางและโค้งงอแล้ว ยังมีรูปร่างโป่งพองขึ้นคล้ายฟองอากาศอีกด้วย นอกจากนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกเปราะ 4.86 4.03 และ 3.89 นิวตัน

ตามลำดับ ส่วนการอบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกเปราะ 4.16 3.94 และ 3.54 นิวตัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานมีค่าความแตกเปราะน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา เนื่องจากเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานมีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาดังกล่าวข้างต้น ผลิตภัณฑ์ที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบสายพานจึงเกิดเซลล์อากาศขนาดใหญ่ และพองตัวได้ดีกว่า ส่งผลให้มีค่าความแตกเปราะน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา

จากวิเคราะห์ขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ทุกตัวอย่าง (ภาพที่ 4-8 ภาพที่ 4-9 และตารางภาคผนวก ฉ-1) พบว่า ให้ผลสอดคล้องกับค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ กล่าวคือ การอบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทั้งสองวิธีให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้จะมีขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส มีขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศเท่ากับ 293.38 396.51 และ 402.55 ไมโครเมตร ตามลำดับ ส่วนการอบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส มีขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศเท่ากับ 321.84 403.56 และ 441.81 ไมโครเมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน (ภาพที่ 4-10 ถึงภาพที่ 4-15 และตารางภาคผนวก ฉ-2) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 101-200 ไมโครเมตร โดยการอบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบเซลล์อากาศที่มีขนาดดังกล่าว 40.13 30.52 และ 30.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการอบด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบเซลล์อากาศที่มีขนาดดังกล่าว 45.71 28.26 และ 26.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะพบเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่กว่า 1000 ไมโครเมตร และจะพบมากขึ้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยเตาอบทั้งสองชนิดให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันกล่าวคือ การอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบเซลล์อากาศขนาดใหญ่กว่า 1000 ไมโครเมตร 1.62 เปอร์เซ็นต์ และพบเพิ่มขึ้นเป็น 7.74 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ส่วนการอบโดยใช้เตาไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบเซลล์อากาศขนาดใหญ่กว่า 1000 ไมโครเมตร 5.02 เปอร์เซ็นต์ และพบเพิ่มขึ้นเป็น 7.50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

สำหรับผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4-14) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทุกตัวอย่างได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านรสชาติ และความรู้สึกในปาก แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุดคือ 7.10 คะแนน จึงนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 4 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพได้แก่ ค่าสี และลักษณะเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A และ B (ตารางที่ 4-15) พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีค่าความสว่าง 73.41 ค่าความเข้มของสี 26.75 ค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี 84.80 และค่าความแตกเปราะ 4.03 นิวตัน ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า A และ B ที่มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 71.99-72.74 ค่าความเข้มของสีอยู่ในช่วง 27.71-28.25 ค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีอยู่ในช่วง 85.00-85.08 และมีค่าความแตกเปราะอยู่ในช่วง 3.97-4.08 นิวตัน และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพเคมีของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า ได้แก่ A และ B (ตารางที่ 4-16) พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 8.04 4.03 0.07 0.49 และ 95.41 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.62 0.51 และ 0.11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน พบว่า มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.13 4.26 7.47 1.95 และ 86.31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.93 0.73 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน และผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน พบว่า มีปริมาณโปรตีน และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำใกล้เคียงกัน ส่วนคุณภาพทางเคมีอื่น ๆ เช่น ปริมาณไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มีค่าแตกต่างกัน อาจเป็นผลเนื่องมาจากในขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์

แผ่นกรอบมีการเติมวัตถุดิบชนิดอื่นลงไปด้วยเช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด มอลโตเดกซ์ทริน โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์ และเนยขาว ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบได้

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน และผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้าพบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมัน และพลังงานลดลง 78.33-79.21 เปอร์เซ็นต์ และ 23.60-24.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจาก ส่วนประกอบ และกระบวนการผลิตในขั้นตอนการทำให้ผลิตภัณฑ์สุกใช้วิธีการที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ทำให้สุกโดยวิธีการอบ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้าทำให้สุกโดยวิธีการทอด จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมัน และพลังงานต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า

สรุปผล

1. วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนคือ การใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส โดยแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเท่ากับ 91.67 0.22 และ 6.64 ตามลำดับ และมีดัชนีการละลายน้ำ 20.51 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีการดูดซับน้ำ 11.78 (กรัมต่อกรัม) และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 85.07 เปอร์เซ็นต์

2. สูตรที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนคือ สูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน : แป้งข้าวเจ้า : แป้งข้าวโพด เท่ากับ 82.5 : 10.0 : 7.5

3. ภาวะการอบที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนคือ การใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที โดยผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสี ค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี เท่ากับ 73.41 26.75 และ 84.80 ตามลำดับ และมีค่าความแตกเปราะเท่ากับ 4.03 นิวตัน ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า

4. ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.13 4.26 7.47 1.95 และ 86.31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.93 0.73 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์

แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน มีปริมาณไขมัน และพลังงานลดลง 78.33-79.21 เปอร์เซ็นต์ และ 23.60-24.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบทางการค้า จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคในปัจจุบันที่ให้ความสำคัญกับเรื่องของสุขภาพมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. อาจมีการปรับปรุงด้านรสชาติ และกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนให้มีความหลากหลายโดยอาจเคลือบ กลิ่นรสต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความชอบของผู้บริโภค
2. อาจมีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบโดยการเติมสตาร์ชที่ทนต่อการย่อย (Resistant Starch) เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารแก่ผลิตภัณฑ์
3. อาจมีการศึกษาการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการอื่น เช่น การใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์
4. อาจมีการศึกษาการใช้ประโยชน์แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น เช่น มายองเนส หรือการใช้เป็นส่วนผสมของซุปผง

บรรณานุกรม

กนกวรรณ สิทธิ์ธนังกูล, ศศิทิพย์ พงษ์รูป และสิโนพาร ธนิตานนท์. (2542). *การใช้แป้งจากเมล็ดขนุนเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้.* ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา. (2549). *การพัฒนากรรมวิธีการผลิตและการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน.* ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กรมวิชาการเกษตร. (2551). *สถิติการผลิตการเกษตรตามแหล่งปลูก (ทั้งหมด) พืชขนุน ปีปฏิทิน 2549-2550 ทั้งประเทศ.* กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2546). *ขนุน พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ.* วันที่ค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2549, เข้าถึงได้จาก http://www.doae.go.th/plant/kanun.htm.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ส่วนอุตสาหกรรมเกษตร. (2546). *แป้งจากเมล็ดขนุน.* วันที่ค้นข้อมูล 22 ตุลาคม 2549. เข้าถึงได้จากhttp://bisd.dip.go.th/agro/HTML/menu/Jackfruit%20012.asp

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2550). *Crispy vegetable / fruit chips*. Retrieved December 15, 2007, from http://intranet.dip.go.th/boc/download/Pattern_Investment/agricultural/Chip.pdf

กรมอนามัย. (2547). *คุณค่าทางโภชนาการต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ของผลไม้เปลือกแข็ง พืชเมล็ด ถั่วเมล็ดแห้ง และผลิตภัณฑ์.* วันที่ค้นข้อมูล 14 ตุลาคม 2549, เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/FoodTable/Html/gr_03.html

กระยาทิพย์ เรือนใจ. (2534). *ผลไม้ คุณค่านานาเพื่อสุขภาพ.* กรุงเทพฯ: ต้นธรรม.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2548). *การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล* (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: ธรรมสาร.

เกษม หฤทัยธนาสันติ์, อุมาภรณ์ สุจริตทวีสุข, สุธาสินี อาจวิชัย, ธงชัย สุวรรณสิชณน์ และเพ็ญขวัญ ชมปรีดา. (2547). การใช้ประโยชน์แป้งข้าวกล้องทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์กรอบเค็ม. ใน *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 6.* กรุงเทพฯ.

ขนิษฐา ธนานุวงศ์ และประภา ทรงจินดา. (2539). *การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อ้างถึงใน พิทักษ์ ไชยแสง. (2547). *การทดแทนเซโมลินาด้วยแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์พาสต้า*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2539). *เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐานเศรษฐกิจ. (2552). *"เนสกี่" งัดแผนรับกำลังซื้อหด วางกลยุทธ์ 2 ทางเลือกดันยอดขายทะลุ 200 ล้านบาท*. วันที่ค้นข้อมูล 10 มิถุนายน 2552. เข้าถึงได้จาก http://www.thannews.th.com/detialNews.php?id=M3122962&issue=2414

เตโชดม ภัทรศัย. (2543). *ผลไม้สมุนไพรไทย*. กรุงเทพฯ: พิมพ์สวย.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2539). *เคมีอาหาร*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. (2543). *ผลของกระบวนการแปรรูปต่ออาหารและสารอาหาร*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

น้ำฝน รักขุมแก้ว, กมลวรรณ แจ้งชัด และอนุวัตร แจ้งชัด. (2549). การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลังในการผลิตกระทงสำเร็จรูปสำหรับอาหารว่าง. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปราณี อ่านเปรื่อง. (2547). *หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง. (2530). *การผลิตข้าวเกรียบปลาโดยใช้เครื่องรีดแผ่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทักษ์ ไชยแสง. (2547). *การทดแทนเซโมลินาด้วยแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์พาสต้า*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. (2536). *การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2539). *การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส*. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มนทกานต์ เบญจพลากร. (2549). *สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้ง และสตาร์ชจากเกาลัดน่าน Sterculia monosperma Vent.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุ่งฤดี สกุลณา. (2547). *การใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนด์วิช*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.

วรรณา ตุลยธัญ. (2549). *เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน. (2549). *การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน.

ศักดิ์ บวร. (2541). *วิตามินและแร่ธาตุอาหาร:คำถามที่ต้องการคำตอบ*. นนทบุรี: เอดิสัน เพรส โพรดักส์.

ศิวาพร ศิวเวชช. (2535). *วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร*. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

ศิริพร ฉันท์สำราญ. (2542). *การผลิตแป้งเมล็ดขนุนเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศิริพร ผ่องใส. (2544). *การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมล็ดขนุนในเปลือกพาย*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2542). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร 1*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สายสนม ประดิษฐดวง. (2534). การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ. *วารสารเกษตรศาสตร์ (วทย.), 25*, 318-325.

สิรินาถ ตัณฑเกษม. (2542). สมบัติของแป้งจากเมล็ดทุเรียนและการนำไปใช้ประโยชน์. ใน *รายงานการวิจัยสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

สุนิสา สุทธิวงศ์. (2547). *การใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในเค้กม้วน*. วันที่ค้นข้อมูล 2 ตุลาคม 2549, เข้าถึงได้จาก, http://dcms.thailis.or.th/dcms/browse.php?option=show&institute_code=36&bib=67

อภิญญา เจริญกูล. (2541). อาหารขบเคี้ยว. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 18* (2), 96-100.

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล. (2546). ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดแป้งจากเมล็ดขนุน. ใน *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5*. กรุงเทพฯ.

_____. (2546). สมบัติทางกายภาพและเคมีของสตาร์ชจากเมล็ดขนุน. ใน *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5*. กรุงเทพฯ.

อรอุมา คงเกลี้ยง และอุมากร พิมพ์โพธิ์. (2544). *แป้งจากเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. (2544). *การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร*. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Acosta, J. L., & Moreira, R. G. (1997). Effects of Different Drying Processes on Oil Absorption and Microstructure of Tortilla Chips. *Cereal Chem*istry, *74*(3), 216-223.

Addesso, K., Dzurenko, T. E., Moisey, M. J., Levine, H., Slade, L., Manns, J. M., Fazzolare, R. D., Levolella, J., & Wang, M. J. (1995). Production of chip-like starch based snacks. *United States Patent No. 5429834.*

American Association of Cereal Chemist. (AACC). (1990). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. Minnesota: American Association of Cereal Chemist.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today, 14*, 4-12.

Anderson, J. M., & Whitcomb, P. J. (2008). *Computer-Aided Tools for Optimal Mixture Design*. Retrieved December 20, 2008, from http://www.statease.com/images/pci_fig1.jpg

Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Arlington: Association of Official Analytical Chemists.

Beleia, A., Butarelo, S. S., & Silva, R. S. F. (2006). Modeling of starch gelatinization during cooking of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, *39*, 399-404.

Beverly, D. J., Villagran, M. D. M., & Williamson, L. (2001). Potato-based dough composition and chips made therefrom. *United States Patent No. 6177116*

Birch, G. G., & Priestley, R. J. (1973). Degree of gelatinization of cooked rice. *Die Starke, 25*(3), 98-101. อ้างถึงใน กมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล และมาลี ซิ้มศรีสกุล. (2546). ผลการใช้ผงเมือกแมงลักเป็นสารเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์บะหมี่สุกแห้ง. ใน *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Blenford, D. E. (1982). What is snack food, flavourings, ingredients, processing and packagings? *Packaging*, *11*, 30-37.

Charle, F. (1969). Extruded starch-based snack. *Cereal Science Today*, *14*, 212-214.

Dogan, I.S. (2006). Effect of oven types on the characteristics of biscuits made from refrigerated and Frozen doughs. *Food Technology and Biotechnolgy*, *44*(1), 117-122.

Donna, B. (2006). *Chip Celebration*. Retrieved November 30, 2007, from http://www.foodproductdesign.com

Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P., & Troncoso, E. (2007). Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering, 81,* 257–265.

Fang, C., & Chinnan, M. S. (2004). Kinetics of cowpea starch gelatinization and modeling of starch gelatinization during steaming of intact cowpea seed. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, *37*, 345-354.

Fazzolare, R. D., Szwerc, J. A., & McFeaters, R. R. (1997). Baked potato-based chip-like snack foods and method of preparing. *United States Patent No. 5690982*.

Gage, D. R., Loadge, R. W., Cammarn, S. R., & Wong, V.Y. (1992). Process for making extrusion cooked snack chips. *United States Patent No. 5147675.*

Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering, 55*, 181–191.

Hodgen, D. A. (2005). *Snack food opportunities in the pacific rim*. Retrieved December 15, 2007, from http://www.snackandbakery.com/content.php?s=SF/2005/08&p=11&sc=3

Jamradloedluk, J., Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S., & Prachayawarakorn, S. (2007). Influences of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip. *Journal of Food Engineering, 78,* 198–205.

Kayacier, A., & Singh, R. K., (2003). Textural properties of baked tortilla chips. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, *36*, 463-466.

_____. (2004). Application of effective diffusivity approach for the moisture content prediction of tortilla chips during baking. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, *37*, 275-281

Kerr, W. R., Ward, C. D. W., McWatters, K. H., & Resurreccion, A.V.A. (2001). Milling and particle size of cowpea flour and snack chip quality. *Food Research International, 34*, 39-45

Kumar, S., Singh, A.B., Abidi, A.B., Upadhyay, R.G., & Singh, A. (1988). Proximate composition of jack fruit seeds. *Journal of Food Science and Technology*, *25*, 308-309.

Lai, H. M. (2001). Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry, 72*, 455-463.

McDonald, C. M., Seetharaman, K., Waniska, R. D., & Rooney, L. W. (1996). Microstructure changes in wheat flour tortillas during baking. *Journal of Food Science*, *61*, 995-999.

Moriki, K., Tanaka, K., & Moriya, S. (2000). Formed chips and method of production thereof. *United States Patent No.6117466*

Morton, F. J. (1987). *Fruits of warm climates*. Miami: FL.

Pardo, S. E. M., Moreno, O. A., Escobedo, M. R., Perez, C. J. J., & Mondragon, N. H. (2008). Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, *41*, 620-627.

Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K., & Granby, K. (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International, 38,* 1–9.

Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., & Granby, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering, 79,* 786–793.

Rahman, M. A., Nahar, N., Mian, A. J., & Mosihuzzaman, M. (1999). Variation of carbohydrate composition of two forms of fruit forms of fruit from jack tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with mature and climatic conditions. *Food Chemistry*, *65*, 91-97.

Ranhotra, G. S., Lee, C., & Gelroth, J. A. (1980). Nutritional characteristics of high protein cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *228*, 507-509

Rani, M., & Chauhan, G. S. (1995). Effect of intermittent frying and frying medium on the quality of potato chips. *Food Chemistry, 54* (4), 365-368.

Reilly, A., & Man, C. M. D. (1989). Potato crisps and savoury snacks. In Man, C.M.D., & Jones, A.A. (Eds.), *Shelf Life Evaluation of Foods*. Glasgow: Chapman & Hall. อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Research & Markets. (2006). *Snacks in Thailand to 2006*. Retrieved December 20, 2007, from http://www.researchandmarkets.com/reports/5001/snacks_in_thailand_to_2006.htm

Singh, A., Kumar, S., & Singh, I. S. (1991). Functional properties of jackfruit seed flour. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, *24*(4), 373-374.

Tulyathan, V., Tananuwong, K., Songjinda, P., & Jaiboon, N. (2002). Some physicochemical properties of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. *Science Asia*, *28*, 37-41.

Villagran, M. D. M., Li, J., Yang, D. K., Chang, D. S., & Evans, J. F. (2004). Fabricated potato chips. *United States Patent No. 6703065*.

Vinas, P., Lopez, E. C., Balsalobre, N., & Cordoba, M. S. (2003). Reversed-phase liquid chromatography on an amide stationary phase for the determination of the B group vitamins in baby foods. *Journal of Chromatography A*, *1007*, 77-84.

Volpe, T., Gallagan, L. A., Haynes, L., Mihalos, M. N., Scher, L., Clark, H., Daines, P., Wiggins, C., Zabrodsky, J., & Shute, M. R. (1999). Continuous microwave assisted baking process. *United States Patent No. 5945022*.

Wang, N., Lewis, M. J., Brennan, J. G., & Westby, A. (1997). Effect of processing methods on nutrients and anti-nutritional factors in cowpea. *Food chemistry, 58*, 59-68.

Yadav, A. R., Guha, M., Tharanathan, R. N., & Ramteke, R. S. (2006). Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, *39*, 20-26.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

วิธีการใช้งานเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ภาพภาคผนวก ก-1 รายละเอียดชุดควบคุมการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

1. เปิด Main Breaker ที่ผนังห้อง เสียบปลั๊กไฟของเครื่องผลิตไอน้ำเข้ากับระบบไฟฟ้าของอาคารที่ติดตั้งเครื่อง
2. เปิดวาล์วน้ำให้น้ำไหลเข้าเครื่องผลิตไอน้ำจนถึงระดับที่เครื่องกำหนดไว้
3. หมุนสวิตซ์ควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำไปที่ ON จากนั้นเปิดสวิตซ์การทำงานของปั๊ม และฮีตเตอร์ที่อยู่ด้านซ้ายมือ สัญญาณไฟติดแสดงถึงสถานะการทำงาน
4. เสียบปลั๊กไฟของเครื่องทำแห้งเข้ากับระบบไฟฟ้าของอาคารที่ติดตั้งเครื่อง
5. เปิด Main Breaker ภายในตู้ควบคุมไฟของเครื่องทำแห้ง
6. ตรวจสอบแผ่นประกบลูกกลิ้งให้แนบชิดกับตัวลูกกลิ้ง โดยปรับมือปรับทุกครั้งก่อนเริ่มต้นเปิดเครื่อง หากละเลยขั้นตอนนี้ แผ่นลูกกลิ้งจะไปกระทบกับเทอร์โมมิเตอร์ ทำให้แกนของเทอร์โมมิเตอร์เสียหายได้
7. เปิดวาล์วไอน้ำด้านหลังเครื่องทำแห้ง (ต้องระบายน้ำในท่อไอน้ำทิ้งก่อนเสมอ) เพื่อเปิดไอน้ำเข้าภายในตัวลูกกลิ้ง
8. เปิดวาล์วแยกไอน้ำเข้าลูกกลิ้งแต่ละตัว

9. เปิดสวิตซ์ Power ไปในตำแหน่ง ON (2) และเปิดสวิตซ์ให้ลูกกลิ้งหมุนเข้าหากัน (4) โดยหมุนสวิตซ์ไปทางซ้าย เพื่อปรับตั้งอุณหภูมิภายในลูกกลิ้งให้สม่ำเสมอเท่ากันทั้งสองลูก
10. หมุนปุ่มควบคุมความเร็วเพื่อปรับความเร็วของลูกกลิ้งตามต้องการ (5) หรือเลือกความเร็วตามที่เครื่องกำหนดไว้แล้วโดยหมุนปุ่ม Speed Adjust (6)
11. เมื่ออุณหภูมิภายในลูกกลิ้งทั้งสองลูกสม่ำเสมอแล้ว ให้นำอาหารใส่ระหว่างลูกกลิ้ง
12. ปรับใบมีดให้แนบชิดกับลูกกลิ้ง เพื่อขูดเอาผลิตภัณฑ์ออกมาจากผิวลูกกลิ้ง หากการปรับด้วยมือแล้วใบมีดยังไม่สามารถขูดผลิตภัณฑ์ออกได้หมด ให้ปรับสกรูบนใบมีดเพิ่มเติม
13. หากเครื่องมีปัญหาขณะทำงานให้หยุดการทำงานของเครื่องโดยกดปุ่ม Emergency Switch (1) ทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น แล้วเริ่มการทำงานของเครื่องใหม่อีกครั้ง
14. เมื่อใช้เครื่องเสร็จแล้ว ทำความสะอาดโดยใช้น้ำแป้งมาใส่ระหว่างระหว่างลูกกลิ้ง เพื่อให้ใบมีดขูดคราบสกปรกต่าง ๆให้หลุดมาพร้อมแป้ง จากนั้นใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดให้สะอาด และบันทึกการใช้เครื่องทุกครั้ง

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน

1. ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index) และดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index) (Anderson et al., 1969)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมฝาปิด (Centrifuge Tubes) ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดตั้งโต๊ะ (Centrifuge) Hermle รุ่น Z323K ประเทศเยอรมนี
3. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
4. โถดูดความชื้น (Desiccator)
5. แท่งแก้ว

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างแป้ง 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Tubes) ที่มีฝาและทราบน้ำหนักแน่นอน เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยคนด้วยแท่งแก้ว ใช้แท่งแก้วคนทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำแท่งแก้วออกพร้อมกับล้างส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วลงในหลอดหมุนเหวี่ยง โดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 2200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณดัชนีการละลายน้ำ สำหรับหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมส่วนที่เหลือในหลอดไปนำชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณดัชนีการดูดซับน้ำ

ดัชนีการละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์) = $(W_1/ W_0) \times 100$

ดัชนีการดูดซับน้ำ (กรัมต่อกรัม) = $(W_3 - W_2) / W_0$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง (กรัม)

W_3 = น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน (กรัม)

2. อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ (Birch & Priestley, 1973)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)
2. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
3. เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดตั้งโต๊ะ (Centrifuge) รุ่น Z323K ประเทศเยอรมนี
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร
5. เครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) Retsch ultra รุ่น ZM 1000 ประเทศเยอรมนี
6. เครื่องร่อน (Sieving Machine) Retch Mule รุ่น VE 1000 ประเทศเยอรมนี
7. ตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช
8. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) Spectronic รุ่น Genesys 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. คิวเวตต์ชนิดควอทซ์ ขนาดช่องแสงผ่าน 10 มิลลิเมตร

สารเคมี

1. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide) บริษัท APS Finechem ประเทศออสเตรเลีย
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
4. ไอโอดีน (Iodine) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

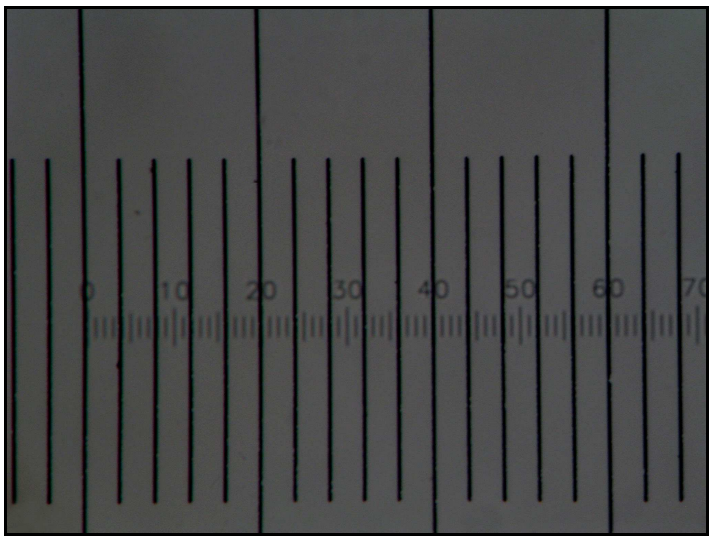
วิเคราะห์อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์โดยนำแป้งเมล็ดขนุนมาเติมน้ำในอัตราส่วน 1 : 2 นำเข้าหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้แห้งด้วยการเกลี่ยแป้งเมล็ดขนุนใส่ถาดแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ด้วยเครื่องบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช จะได้แป้งเมล็ดขนุนที่มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปผสมกับแป้งดิบ (แป้งเมล็ดขนุนที่มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 0 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างแป้งผสมที่มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เป็น 0 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ นำแป้งผสมที่ได้มา 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาณ 98 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่อง

หมุนเหวี่ยงที่ 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตส่วนใส 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีน 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้ง (มนทกานต์ เบญจพลากร, 2549)

ศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้ง โดยใช้ Stage Micrometer (ความกว้างของสเกลช่องละ 10 ไมโครเมตร)วางบนแท่นวางสไลด์ของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ปรับระยะโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำที่สุด แล้วมองเห็นสเกลของ Stage Micrometer ชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า เทียบสเกลของ Ocular Micrometer กับ Stage Micrometer ดังภาพภาคผนวก ข-1 จะเห็นได้ว่า ที่กำลังขยาย 400 เท่า 4 ช่องของ Ocular Micrometer เท่ากับ 1 ช่องของ Stage Micrometer หรือมีขนาดเท่ากับ 10 ไมโครเมตร จึงอาจกล่าวได้ว่า 1 ช่องของ Ocular Micrometer มีขนาดเท่ากับ 2.5 ไมโครเมตร จากนั้นนำ Stage Micrometer ออก และเตรียมสไลด์สำหรับศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้ง โดยหยดน้ำลงบนแผ่นสไลด์ 1-2 หยด จากนั้นนำตัวอย่างแป้งเมล็ดขนุนมาเกลี่ยลงบนแผ่นสไลด์บนพื้นที่ 1.5 × 1.5 ตารางเซนติเมตร ให้มีความหนาแน่นของเม็ดแป้งเหมาะสม ปรับระยะโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำที่สุด แล้วมองเห็นอนุภาคของเม็ดแป้งชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า ปรับความละเอียดของภาพโดยใช้ปุ่มปรับภาพละเอียด วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งที่พบ โดยใช้ Ocular Micrometer นำค่าที่ได้มาคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางที่แท้จริงของเม็ดแป้งได้ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (ไมโครเมตร) = จำนวนช่องของ Ocular Micrometer × 2.5



ภาพภาคผนวก ข-1 การปรับเทียบสเกลของ Ocular Micrometer และ Stage Micrometer ที่กำลังขยาย 400 เท่า

สำหรับการศึกษาลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้ง ทำได้โดยการปรับเลื่อนสไลด์ให้ได้องค์ประกอบของภาพที่ต้องการ และปรับความคมชัดของภาพโดยดูที่กล้องถ่ายภาพ ตั้งระบบการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายภาพเป็นแบบไม่ใช้แฟลช นำเลนส์โพลาไรซ์วางบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ หมุนแผ่นโพลาไรซ์ให้ได้สีของพื้นภาพเป็นสีดำเพื่อให้เห็นลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้ง จากนั้นปรับความคมชัดของภาพ แล้วถ่ายภาพเม็ดแป้งภายใต้แสงโพลาไรซ์

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

วิธีการใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2)

1. เริ่มต้นทำงาน

1.1 เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer

1.2 คลิกที่ Start ⟶ Program ⟶ Texture Expert ⟶ Texture Expert U.S. English จะปรากฏหน้าต่าง User Selection ⟶ คลิก OK

1.3 จากนั้นไปที่ File ⟶ New Project จะปรากฏหน้าต่างของ Project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการจะตั้ง Project ⟶ Restart ⟶ จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ

1.4 กรณีมีข้อมูลแล้ว ให้คลิกที่ Open Icon จะปรากฏหน้าต่างของ Open ให้เลือกชื่อไฟล์ตามต้องการ โดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ได้ที่ List First of Type โดย *.ARC คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ *.RES คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล *.PRJ คือ ไฟล์ที่เป็น Project Document .MAC คือ ไฟล์ที่เป็น Macro และ *.LIS คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

2. การปรับเทียบ (Calibration)

2.1 จะต้อง Calibrate Force ทุกครั้งที่ทำการตรวจสอบ โดยไปที่ T.A. บน Menu Bar ⟶ Calibrate Force จะปรากฏหน้าต่างของ Force Calibration ตรวจดูให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด (Probe) ติดอยู่ที่ Calibration Platform จากนั้นให้คลิก OK

2.2 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างใหม่ของ Force Calibration ต่อไปให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน Calibrate Platform แล้วคลิก OK

2.3 เมื่อปรากฏข้อความว่า “Calibration Successful” ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

3. การตั้งค่า (T.A. Setting)

3.1 ไปที่ T.A. ⟶ T.A. Setting (หรือ F4) จะปรากฏหน้าต่างของ Texture Analyzer Setting ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

Mode	
Option	Measure Force in Compression
Pre-Test Speed	1.0 mm/ s
Test Speed	1.0 mm/ s
Post-Test Speed	10.0 mm/ s
Distance	3 mm
Trigger Type	Auto – 5 g
Data Acquisition Rate	200 pps

3.2 ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลไว้ให้คลิก Save กรณีจะเรียกข้อมูลเดิมให้คลิก Load

3.3 เมื่อจะทำชั้นต่อไปให้คลิก Update

4. การทำ Run a Test

4.1 วางตัวอย่างบนแท่นทดสอบ (ดังภาพภาคผนวก ค-1) แล้วเลือก T.A. บน Menu Bar ⟶ Run a Test (หรือ F2) จะปรากฏหน้าต่างของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีความหมายดังนี้

Auto Save : บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม Drive หรือ Path ที่ตั้งไว้

File ID : ตั้งชื่อ File สำหรับกราฟแสดงผล (5 ตัวอักษร)

File No : ตั้งหมายเลขไฟล์ (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติหลังจากที่แต่ละไฟล์ถูกบันทึก)

Drive : ตำแหน่งที่จะให้บันทึกข้อมูลไว้

Title : ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note : บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

Probe and Product Data : เลือกชนิดของ Probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้วัด

Configure : ใส่ Production Dimension

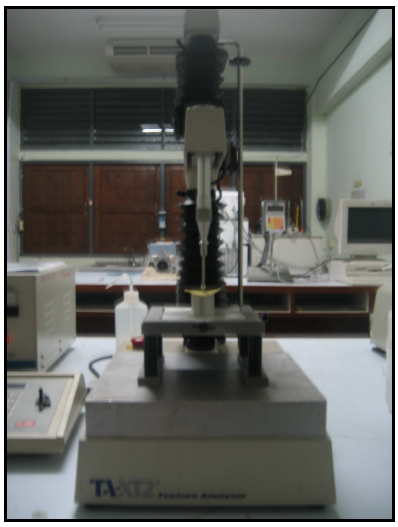
Delay Start : เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการเริ่มการวัดออกไป

Clear Previous Graph : เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏกราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC File เดิมออกเพื่อให้ ARC File ใหม่เข้ามาแทน)

Run Macro : เมื่อต้องการให้วิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS : อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปใช้ 200 PPS

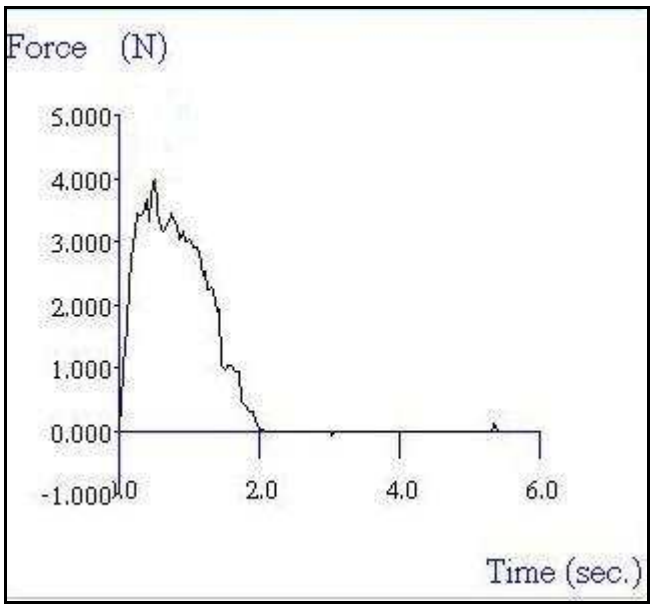
4.2 เมื่อตั้งค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับปรากฏเส้นกราฟบนหน้าต่างกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นต่อไปให้เลือก T.A. บน Menu Bar ⟶ Quick Test Run (หรือกดแป้น Ctrl+Q)



ภาพภาคผนวก ค-1 วิธีการวางตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบบนแท่นทดสอบ

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน โดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจำนวน 12 ชิ้น มาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัดทรงกลม (Ball probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/ 4 นิ้ว (P/ 0.25S) กดลงตรงกลางชิ้นผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ ได้กราฟดังภาพภาคผนวก ค-2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดคือ ความแตกเปราะ (Fracturability) ซึ่งหมายถึง ค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างเริ่มเกิดการแตกหัก ในหน่วยนิวตัน (N)



ภาพภาคผนวก ค-2 กราฟการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ภาคผนวก ง

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 - Point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ..... **วันที่**.....

ผลิตภัณฑ์ แผ่นกรอบ

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในด้านต่างๆ ตามความรู้สึกของท่านตามคำอธิบายคะแนนความชอบข้างล่างนี้ และกลั้วปากด้วยน้ำทุกครั้งก่อนชิมตัวอย่างต่อไป

ชอบมากที่สุด = 9	ชอบเล็กน้อย = 6	ไม่ชอบปานกลาง = 3
ชอบมาก = 8	เฉย ๆ = 5	ไม่ชอบมาก = 2
ชอบปานกลาง = 7	ไม่ชอบเล็กน้อย = 4	ไม่ชอบมากที่สุด = 1

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความรู้สึกในปาก	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางภาพถ่าย (Image Analysis)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางภาพถ่าย (Image Analysis)

ขั้นตอนการปรับแต่งโปรแกรม

1. เปิดโปรแกรม Image Tool

2. ตั้งค่าที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น ความยาวสูงสุด (Major Axis Length) ความกว้างสูงสุด (Minor Axis Length) พื้นที่ภาพ (Area) หรือ ความยาวรอบวัตถุ (Perimeter)

Perimeter Setting/ Preferences/ Object Analysis/ เลือกตัวแปรที่ต้องการวิเคราะห์

3. ตั้งค่าขอบเขตขนาดของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์

Setting/ Preferences/ Find Objects

ขั้นตอนการ Calibration

1. เปิดโปรแกรม Image Tool

2. เปิดไฟล์รูปภาพสำหรับการ Calibration (เป็นรูปวัตถุที่ทราบความยาวมาตรฐาน)

File/ Open Image/ เลือกไฟล์รูปภาพสำหรับการ Calibration/ Open

3. Settings/ Calibration Spatial Measurement/

โปรแกรมแสดงคำสั่ง Draw a Line of Know Length ให้คลิกเมาท์ที่จุดเริ่มต้นบนรูปภาพวัตถุที่ทราบความยาวแล้วลากไปจุดสิ้นสุด และให้ใส่ขนาดความยาวที่ถูกต้อง พร้อมทั้งหน่วยของการวัด

Length: ความยาวที่ถูกต้อง

Unit: หน่วยของการวัด

4. บันทึกค่าของการ Calibration

Settings/ Calibration Save Spatial Calibration/ ตั้งชื่อไฟล์ Calibration พร้อมชนิดไฟล์ (.itc)

ขั้นตอนการวิเคราะห์รูปภาพ

1. เปิดโปรแกรม Image Tool

2. โหลดไฟล์ Calibration ที่บันทึกไว้ในขั้นตอนของการ Calibration

Settings/ Load Spatial Calibration/ เลือกไฟล์ Calibration (.itc)/ Open

3. เปิดไฟล์รูปภาพสำหรับการวิเคราะห์

File/ Open Image/ เลือกรูปภาพสำหรับการ Calibration/ Open

4. เปลี่ยนไฟล์รูปภาพให้เป็นภาพแบบ Gray Scale

Processing/ Color-to-Grayscale/

5. หาขอบเขตของวัตถุในภาพที่ต้องการวิเคราะห์ โดยแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง

Analysis/ Object Analysis/ Find Objects/ Manual/ Threshold/ เลื่อนแถบจนกระทั่งได้ขอบเขตของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์/ OK

6. วิเคราะห์ขนาดของวัตถุ

Analysis/ Object Analysis/ Analyze

7. โปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ เช่น ความยาวสูงสุด ความกว้างสูงสุด พื้นที่ภาพ หรือ ความยาวรอบวัตถุ

8. บันทึกผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ ไฟล์ที่บันทึกเป็นไฟล์ชนิด Text และสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรม Excel

File/ Save Results as/ ตั้งชื่อไฟล์/ Save

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นรอบวงเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นรอบวงเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ตารางภาคผนวก ฉ-1 ขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดาและเตาอบไฟฟ้าแบบสายพานที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ขนาดเส้นรอบวง (ไมโครเมตร)
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	160	293.38
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	180	396.51
เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา	200	402.55
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	160	321.84
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	180	403.56
เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน	200	444.81

ตารางภาคผนวก ฉ-2 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบธรรมดา (A) และเตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน (B) ที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส

ภาวะในการอบ	จำนวนเซลล์อากาศ (เปอร์เซ็นต์)										
	ขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศ (ไมโครเมตร)										
	0 -100	101 - 200	201 - 300	301 - 400	401 - 500	501 - 600	601 - 700	701 - 800	801 - 900	901 - 1000	มากกว่า 1000
A-160	-	40.13	35.89	11.19	6.01	1.63	3.54	0.80	-	-	-
A-180	-	30.52	28.32	3.65	11.49	3.71	8.30	5.68	3.63	2.58	1.62
A-200	-	30.38	23.84	12.70	10.27	4.68	2.54	4.91	1.11	1.83	7.74
B-160	1.88	45.71	29.04	6.81	8.86	4.20	2.39	-	1.11	-	-
B-180	0.82	28.26	27.78	13.80	10.65	1.99	1.46	3.93	3.80	2.50	5.02
B-200	0.43	26.79	26.46	17.37	8.47	3.98	3.75	1.85	1.76	1.64	7.50

ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC Method 925.10, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture Can)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. อบภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2. นำภาชนะอะลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)

3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอะลูมิเนียมหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

การคำนวณ

ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) = $((W_0 - W_1) / W_1) \times 100$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC Method 923.03, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร
3. เตาไฟฟ้า (Hot Plate) รุ่น ECM6 สหราชอาณาจักร
4. ถ้วยครูซิเบิล (Crucible)

5. โถดูดความชื้น (Desiccator)

6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เผาถ้วยครูซิเบิลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของครูซิเบิลลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

4. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปเผาบนเตาไฟฟ้า (Hot Plate) จนกระทั่งหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีเทา จากนั้นนำออกจากเตาเผาใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของครูซิเบิลลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าทั้งหมดในตัวอย่างอาหาร

การคำนวณ

ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) = $((W_2-W_0)/ W_1) \times 100$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักครูซิเบิล (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักรวมของครูซิเบิลและตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC Method 920.87, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดย่อยโปรตีน (Digestion Flask)

2. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask)

3. บิวเรต

4. โถดูดความชื้น (Desiccator)

5. เครื่องย่อยสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Digestion Unit) รุ่น Buchi 426 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

6. เครื่องกลั่นสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Distillation Unit) Buchi รุ่น 323 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

7. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี

8. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC 211S ประเทศเยอรมนี

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก 96 เปอร์เซ็นต์ (Sulfuric, H_2SO_4) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

2. สารเร่งปฏิกิริยาในการย่อยโปรตีน (Selenium Reagent Mixture) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) (Sodium Hydroxide; NaOH) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

4. สารละลายกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) (Boric Acid, HBO_3) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

5. เชียร์อินดิเคเตอร์ (Methyl Red และ Methylene Blue) บริษัท Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มัล บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย (Digestion)

1. อบตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.7-2.2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน ทำแบลงก์ควบคู่ไปด้วยโดยใช้น้ำกลั่นแทนที่ตัวอย่าง

3. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 10 กรัม

4. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 96 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

5. วางหลอดย่อยในเตาย่อย แล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ และเครื่องจับไอกรดให้เรียบร้อย

6. เปิดเครื่องจับไอกรดและเตาย่อย แล้วตั้งอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 60 นาที จนได้สารละลายใส จากนั้นปิดเตาย่อยแล้วรอจนกระทั่งเย็น และไม่มีไอกรดเหลืออยู่

ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

1. เปิดสวิตซ์ชุดกลั่นโปรตีน และเครื่องทำความเย็นให้ได้อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส

2. นำหลอดย่อยโปรตีนต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 90 มิลลิลิตร

3. เติมกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 60 มิลลิลิตร และเติมเชียร์อินดิเคเตอร์ 3-4 หยด ลงในขวดรูปกรวย แล้วนำไปรองรับของเหลวที่ถูกกลั่นออกมาโดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลาย

4. กลั่นโดยใช้เวลา 3 นาที

ขั้นตอนการไทเทรต (Titration)

ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มัล จากนั้นคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีน

การคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) = $((X_2-X_1)\times N\times 1.4\times 100) / (W\times 100)$

ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) × F

โดยที่ X_1 = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงก์ (มิลลิลิตร)

X_2 = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก (นอร์มัล)

W = น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

F = แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณโปรตีน ในที่นี้เท่ากับ 5.70

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC Method 922.06, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัดไขมัน (Soxhtherm) Gerhadt รุ่น S 306 SK ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
2. เครื่องไฮโดรไลซิส
3. ทิมเบิล (Extraction Thimble)
4. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC2115-00 ประเทศเยอรมนี
6. โถดูดความชื้น (Desiccator)

7. กระดาษกรอง

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส (Petroleum Ether b.p. 40-60°C) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4 นอร์มัล (Hydrochloric Acid; HCl 37 %) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3. ซีไลท์ (Celite) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

4. ซีแซนด์ (Seasand) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อนนาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2. อบขวดสกัด ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนัก จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) (a)

3. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งให้ได้น้ำหนักแน่นอน 2-5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และชั่งซีไลท์ 5 กรัม ใส่ตัวอย่างและซีไลท์ลงในบีกเกอร์ไฮโดรไลซิส

4. เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มัล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อละลายตัวอย่างและซีไลท์ แล้วเขย่าบีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริก 4 นอร์มัลจำนวน 50 มิลลิลิตรอีกครั้ง เพื่อชะล้างตัวอย่าง และซีไลท์ที่ติดอยู่บริเวณข้างบีกเกอร์ไฮโดรไลซิส

5. นำบีกเกอร์ไฮโดรไลซิส มาวางบนเตาไฟฟ้าของเครื่องไฮโดรไลซิสให้ความร้อนเบอร์ 2 จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มจึงหยุดให้ความร้อน

6. กรองสารละลายขณะร้อนผ่านกระดาษกรองที่มีซีแซนด์ ประมาณ 5 กรัม ในตู้ควัน

7. ล้างตะกอนที่ติดอยู่ข้างในบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผ่านกระดาษกรอง โดยให้สารละลายที่กรองได้มีปริมาตรรวมประมาณ 250 มิลลิลิตร

8. รอจนตะกอนในกระดาษกรองแห้ง ห่อกระดาษกรองที่มีตะกอนใส่ในทิมเบิล และใส่ลงในขวดสกัดที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร แล้วประกอบกับชุดเครื่องเครื่องสกัดไขมัน ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 4 ชั่วโมง

9. ให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ เป็นเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง

10. เมื่อปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยไปหมดแล้ว อบขวดสกัดด้วยตู้อบลมร้อน จากนั้นนำออกจากเตาอบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (b)

การคำนวณ

ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) = $(W_1 / W_2) \times 100$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ คิดได้จาก b-a (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AACC Method 32-05, 1990)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร
5. ถ้วยครูซิเบิล (Crucible)
6. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethylalcohol) 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
2. เทอร์มามิล (Thermamyl: Heat-Stable, Alpha-Amylase) บริษัทอีสต์เอเชียติค (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย
3. โปรติเอส (Protease) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4. อะไมโลกลูโคสิเดส (Amyloglucosidase) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium Dihydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

8. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง บดให้ละเอียด แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ต้องสกัดไขมันออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอัตราส่วน 25 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม โดยสกัด 3 ครั้งก่อนบด

2. ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) โดยน้ำหนักของตัวอย่าง 2 ซ้ำ ต้องต่างกันไม่เกิน 20 มิลลิกรัม และทำแบลงก์ควบคู่ไปด้วย

3. ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมเทอร์มามิล 0.1 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วต้มในอ่างน้ำร้อน อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

4. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 ± 0.1 ด้วยสารละลายโซเดียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 นอร์มัล 10 มิลลิเมตร แล้วเติมโปรติเอส 0.1 มิลลิเมตร (โปรติเอส 5 มิลลิกรัมละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 มิลลิลิตร) ปิดเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

5. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.0-4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร แล้วเติมอะไมโลกลูโคสิเดส 0.3 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

6. เติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 280 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสลงในบีกเกอร์ตัวอย่างที่ย่อยด้วยเอนไซม์แล้วเพื่อตกตะกอนส่วนที่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที

7. ชั่งครูซิเบิลให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นล้างด้วยเอทานอล 78 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ต่อครูซิเบิลกับเครื่อง Suction แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้จากข้อ 6 ลงกรองเป็นเวลา 30 นาที

8. ล้างส่วนที่เหลือจากการกรองด้วยเอทานอล 78 เปอร์เซ็นต์ 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และอะซิโตน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

9. อบส่วนที่เหลือจากการกรองที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน หักลบน้ำหนักครูซิเบิลออกเพื่อคำนวณน้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล

10. หาปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้าจากตัวอย่าง เพื่อนำมาหักลบออกจากน้ำหนักส่วนที่เหลือจึงจะได้ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ใยอาหารทั้งหมด (% Total Dietary Fiber; TDF)

$$\% \text{ TDF} = [(W_2\text{-P-A-B}) / W_1] \times 100$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

W_2 = น้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล (มิลลิกรัม)

P = น้ำหนักโปรตีน (มิลลิกรัม)

A = น้ำหนักเถ้า (มิลลิกรัม)

B = แบลงก์ (มิลลิกรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร
5. ถ้วยครูซิเบิล (Crucible)
6. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethylalcohol) 95 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
2. เทอร์มามิล (Thermamyl : Heat-Stable, Alpha-Amylase) บริษัทอีสต์เอเชียติค (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย
3. โปรติเอส (Protease) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4. อะไมโลกลูโคสิเดส (Amyloglucosidase) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย

6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium Dihydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย

7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

8. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง บดให้ละเอียด แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ต้องสกัดไขมันออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอัตราส่วน 25 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม โดยสกัด 3 ครั้ง ก่อนบด

2. ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) โดยน้ำหนักของตัวอย่าง 2 ซ้ำ ต้องต่างกันไม่เกิน 20 มิลลิกรัม และทำแบลงก์ควบคู่ไปด้วย

3. ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมเทอร์มามิล 0.1 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วต้มในอ่างน้ำร้อน อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

4. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 ± 0.1 ด้วยสารละลายโซเดียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 นอร์มัล 10 มิลลิเมตร แล้วเติมโปรติเอส 0.1 มิลลิเมตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

5. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.0-4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร แล้วเติมอะไมโลกลูโคสิเดส 0.3 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

6. ชั่งครูซิเบิลให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นล้างด้วยน้ำ 3 มิลลิลิตร ต่อครูซิเบิลกับเครื่อง Suction แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้จากข้อ 5 ลงกรองเป็นเวลา 30 นาที

7. ล้างส่วนที่เหลือจากการกรองด้วยน้ำ 10 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง ตามด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และอะซิโตน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

8. อบส่วนที่เหลือจากการกรองที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน หักลบน้ำหนักครูซิเบิลออกเพื่อคำนวณน้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล

9. หาปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้าจากตัวอย่าง เพื่อนำมาหักลบออกจากน้ำหนักส่วนที่เหลือจึงจะได้ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (% Insoluble Dietary Fiber; IDF)

$$\% \text{ IDF} = [(W_2\text{-P-A-B}) / W_1] \times 100$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

W_2 = น้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล (มิลลิกรัม)

P = น้ำหนักโปรตีน (มิลลิกรัม)

A = น้ำหนักเถ้า (มิลลิกรัม)

B = แบลงก์ (มิลลิกรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ

เปอร์เซ็นต์ใยอาหารที่ละลายน้ำ (% Soluble Dietary Fiber; SDF)

$$\% \text{ SDF} = \% \text{ TDF} - \% \text{ SDF}$$

ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวก ซ-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อปริมาณผลผลิตแป้งดิบและแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	1916.381	319.397	1300.703*	0.000
Error	14	3.438	0.246		
Total	20	1919.819			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าความสว่าง (L*) ของแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	46.463	7.744	1479.721*	0.000
Error	14	0.073	0.005		
Total	20	46.536			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) ของแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	1.137	0.190	737.247*	0.000
Error	14	0.004	0.000		
Total	20	1.141			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	164.411	27.402	3596.498*	0.000
Error	14	0.107	0.008		
Total	20	164.518			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าดัชนีความขาวของแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	189.959	31.660	3340.987*	0.000
Error	14	0.133	0.009		
Total	20	190.092			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	1408.778	234.796	10282.48*	0.000
Error	14	0.320	0.023		
Total	20	1409.098			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	348.259	58.043	3883.571*	0.000
Error	14	0.209	0.015		
Total	20	348.468			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	196.496	32.745	129.400*	0.000
Error	14	3.543	0.253		
Total	20	200.012			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าความเข้มสี (C*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	1183.666	197.278	857.285*	0.000
Error	14	3.222	0.230		
Total	20	1186.887			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	10.001	1.667	3.683*	0.021
Error	14	6.336	0.453		
Total	20	16.337			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	52.690	8.782	3104.653*	0.000
Error	14	0.040	0.003		
Total	20	52.730			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	534.400	89.067	62.619*	0.000
Block	49	148.929	3.039	2.137*	0.000
Error	294	418.171	1.422		
Total	349	1101.500			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบและแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	382.834	63.806	46.562*	0.000
Block	49	121.340	2.476	1.807*	0.002
Error	294	402.880	1.370		
Total	349	907.054			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมที่มีผลต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	88.617	14.770	13.907*	0.000
Block	49	60.160	1.228	1.156^{ns}	0.234
Error	294	312.240	1.062		
Total	349	461.017			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	190.794	31.791	22.791*	0.000
Block	49	126.071	2.573	1.844*	0.001
Error	294	410.109	1.395		
Total	349	726.929			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	60.817	10.136	6.367*	0.000
Block	49	124.540	2.542	1.597*	0.010
Error	294	468.040	1.592		
Total	349	653.397			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปาก ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	378.297	63.050	59.963*	0.000
Block	49	97.989	2.000	1.902*	0.001
Error	294	309.131	1.051		
Total	349	785.417			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งดิบ และแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	6	145.737	24.290	30.152*	0.000
Block	49	95.546	1.950	2.421*	0.000
Error	294	236.834	0.806		
Total	349	478.117			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	39.723	4.414	99.645*	0.000
Error	20	0.886	0.044		
Total	29	40.608			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	0.095	0.011	56.579*	0.000
Error	20	0.004	0.000		
Total	29	0.099			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	2.501	0.278	49.066*	0.000
Error	20	0.113	0.006		
Total	29	2.614			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อค่าความแตกเปราะ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	29.053	3.228	85.123*	0.000
Error	20	0.758	0.038		
Total	29	29.812			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	37.130	4.126	3.479*	0.000
Block	49	138.450	2.826	2.383*	0.000
Error	441	522.970	1.186		
Total	499	698.550			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	48.320	5.369	4.082*	0.000
Block	49	104.800	2.139	1.626*	0.006
Error	441	580.080	1.315		
Total	499	733.200			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	19.018	2.113	2.275*	0.017
Block	49	97.818	1.996	2.149*	0.000
Error	441	409.682	0.929		
Total	499	526.518			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	4.128	0.459	0.695^{ns}	0.713
Block	49	49.048	1.001	1.518*	0.017
Error	441	290.872	0.660		
Total	499	344.048			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	57.512	6.390	3.999*	0.000
Block	49	131.192	2.677	1.676*	0.004
Error	441	704.688	1.598		
Total	499	893.392			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปาก ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	30.962	3.440	5.165*	0.000
Block	49	53.082	1.083	1.626*	0.006
Error	441	293.738	0.666		
Total	499	377.782			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสูตรที่ใช้ในการเตรียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	9	47.112	5.235	4.576*	0.000
Block	49	96.192	1.963	1.716*	0.003
Error	441	504.488	1.144		
Total	499	647.792			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	295.959	59.192	159.973*	0.000
Error	12	4.440	0.370		
Total	17	300.399			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อค่าความเข้มสี (C*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	627.836	125.567	570.300*	0.000
Error	12	2.642	0.220		
Total	17	630.479			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	19.109	3.822	138.552*	0.000
Error	12	0.331	0.028		
Total	17	19.440			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	2.677	0.535	89.976*	0.000
Error	12	0.071	0.006		
Total	17	2.748			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	82.137	16.427	14.055*	0.000
Block	49	64.097	1.308	1.119^{ns}	0.287
Error	245	286.363	1.169		
Total	299	432.597			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	128.777	25.755	23.194*	0.000
Block	49	75.203	1.535	1.382^{ns}	0.059
Error	245	272.057	1.110		
Total	299	476.037			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	54.350	10.870	9.529*	0.000
Block	49	70.737	1.444	1.265^{ns}	0.127
Error	245	279.483	1.141		
Total	299	404.570			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	20.350	4.070	9.423*	0.004
Block	49	42.403	0.865	2.004*	0.000
Error	245	105.817	0.432		
Total	299	168.570			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	76.497	15.299	13.814*	0.000
Block	49	87.403	1.784	1.611*	0.010
Error	245	271.337	1.107		
Total	299	435.237			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปาก ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	5	18.230	3.646	19.031*	0.000
Block	49	78.603	1.604	8.373*	0.000
Error	245	46.937	0.192		
Total	299	143.770			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาวะในการอบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Process	5	69.550	13.910	15.471*	0.000
Block	49	60.417	1.233	1.371^{ns}	0.064
Error	245	220.283	0.899		
Total	299	350.250			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)