การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย (*Loligo* spp.)

ชญานิศ คล่องแคล่ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ ชญานิศ คล่องแคล่ว ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.อโนชา สุขสมบูรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญอร ไหมสุทธิสกุล)

..... กรรมการ
(ดร.อโนชา สุขสมบูรณ์)

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวามินี ธีระวุฒิ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 16 เดือน มกราคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. อโนชา สุขสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนชี้แนะแก้ไขในข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญอร ไหมสุทธิสกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวามินี ธีระวุฒิ ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข วิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณศิโรรัตน์ นทีพงศ์พริยะ ร้านตะวันออกหมูหยอง (แสงตะวัน) ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องบรรจุสุญญากาศและอัดก๊าซไนโตรเจน ในการบรรจุขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณสุพรรษา ฉิ่งทองคำ บริษัท ทีทีบี อินดัสทรี จำกัด ได้ให้ความอนุเคราะห์ฟิล์มพลาสติกสำหรับใช้ทำถุงบรรจุขนมขบเคี้ยว จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ชญานิศ คล่องแคล่ว

57910025: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร; วท.ม. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)
คำสำคัญ: น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย/ ข้าวเจ้า/ ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง/ กระบวนการเอกซ์ทรูชัน/ การเก็บรักษา

ชญานิศ คล่องแคล่ว: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย (*Loligo* spp.) (DEVELOPMENT OF EXPANDED SNACK FROM RICE FORTIFIED WITH INK POWDER FROM SQUID (*Loligo* spp.)) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อโนชา สุขสมบูรณ์, ปร.ด., กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, Ph.D. 220 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย จากการศึกษาผลของวิธีทำแห้ง ได้แก่ การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง) การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (อุณหภูมิ 70 °C ความดัน 26 cmHg เป็นเวลา 6 ชั่วโมง) และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ -50 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง) ต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์ พบว่า น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความชื้นต่ำที่สุด และมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 64.09) สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ 98.89) และความสามารถในการละลาย (15.12 g/100g) สุดที่สุด ($p<0.05$) รวมทั้งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ($<1x10^1$ cfu/g) และโคลิฟอร์ม (< 3 MPN/g) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน จึงเลือกน้ำหมึกผงที่ทำแห้งโดยการแช่เยือกแข็งไปใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง โดยนำน้ำหมึกผง ที่ระดับร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 (ของน้ำหนักแป้ง) เติมในแป้งเจ้า พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงมีผลทำให้ ปริมาณโปรตีน สมบัติในการต้านอนูลอิสระ และ ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่า L* ลดลง ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมและสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด ในขณะที่มีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด ดังนั้นจึงคัดเลือกไปใช้ในตอนต่อไป จากการศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ 15 20 และ 25) และอุณหภูมิของบาร์เรลในการเอกซ์ทรูชัน (90 100 และ 110 °C) ที่มีต่อคุณลักษณะของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวที่เตรียมจากส่วนผสมความชื้นร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 °C ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมและค่าการพองตัวสูงที่สุด จึงคัดเลือกไปศึกษาในขั้นต่อไป โดยนำขนมขบเคี้ยวบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกลามิเนต 2 ชนิด ได้แก่ oriented polypropylene/ cast polypropylene (OPP/CPP) และ oriented polypropylene/ metalized polypropylene terephthalate/ cast polypropylene (OPP/MPET/CPP) และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าความแข็ง ค่าความแตกเปราะ และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ($p<0.05$) และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ความชื้น ค่า a_w ค่าความแข็ง มีค่าเพิ่มขึ้น แต่สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ค่าความแตกเปราะและคะแนนการยอมรับโดยรวมลดลง ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP

57910025: MAJOR: FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY; M.Sc. (FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY)

KEYWORDS: SQUID INK POWDER/ RICE/ EXPANDED SNACK/ EXTRUSION/ STORAGE

CHAYANID KLONGKLAEW: DEVELOPMENT OF EXPANDED SNACK FROM RICE FORTIFIED WITH INK POWDER FROM SQUID (*Loligo* spp.). ADVISORY COMMITTEE: ANOCHA SUKSOMBOON, Ph.D., KULLAYA LIMROONGREUNGRAT, Ph.D. 220 P. 2018.

This research aimed to develop expanded snack from rice fortified with squid (*Loligo* spp.) ink powder. The effect of drying methods including tray drying (70 °C for 6 hours), vacuum drying (70 °C and 26 cmHg for 6 hours) and freeze drying (-50 °C for 6 hours) on chemical, physical and microbiological properties of squid ink powder were investigated. The freeze dried squid ink powder had the highest protein content (64.09%), antioxidant activity (98.89%) and water solubility index (15.12 g/100g). The results from microbial tests indicated that the total plate counts ($<1x10^1$ cfu/g) and coliform bacteria (< 3 MPN/g) of the squid ink powder met the Thai community product standard. Therefore, freeze dried squid ink powder was chosen for production add of expanded rice snack. The rice flour was fortified with squid ink powder at the levels of 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 % (flour weight). The result showed that protein content, antioxidant activity and hardness of snack increased when the amount of ink powder increased, but L * value decreased. The expanded rice snack fortified with 5.0% ink powder received the highest overall acceptance score, and had the highest expansion ratio as well as the lowest fractulability. Thus, it was selected for further study. The effect of moisture content of flour mixture (15, 20 and 25%) and barrel temperature (90, 100 and 110 ^oC) on properties of expanded rice snack fortified with squid ink powder were studied. The interaction effect between moisture content and barrel temperature had significant influence on diameter, expansion ratio, water absorption, water solubility, hardness and fractulability of expanded snack ($p<0.05$). The condition of 20% flour moisture content and 100 ^oC barrel temperature for preparing expanded snack yielded the product with the highest overall acceptance score and expansion ratio, and was selected for the next study. The expanded snack was packed in two types of plastic bag made from oriented polypropylene/ cast polypropylene (OPP/CPP) and oriented polypropylene/ metalized polypropylene terephthalate/ cast polypropylene (OPP/MPET/CPP) laminated films and stored for 12 weeks at the room temperature. The interaction effect between type of package and storage time were significantly affected on moisture content, water activity, hardness, fractulability and antioxidant activity of expanded snack ($p<0.05$). Moisture content, water activity, hardness of expanded snack increased while antioxidant activity and overall acceptance scores decreased as storage time increased. The expanded snack packed in OPP/MPET/CPP bag was kept longer than the product packed in OPP/CPP bag.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ต

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

สมมติฐานของการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 5

ขอบเขตของการวิจัย 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

หมึกกล้วย 6

น้ำหมึก 7

กระบวนการทำแห้ง 9

อนุมูลอิสระ 17

ขนมขบเคี้ยว 23

การเก็บรักษาขนมขบเคี้ยว 35

3 วิธีดำเนินการวิจัย 39

วัตถุดิบ 39

วัสดุอุปกรณ์ 39

วิธีดำเนินการวิจัย 41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการวิจัย	51
	ผลการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย	51
	ผลการศึกษาปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าวัสดุอุปกรณ์	57
	การศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย	66
	ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา	83
5	อภิปรายและสรุปผล	105
	อภิปรายผลการวิจัย	105
	สรุปผลการวิจัย	144
	ข้อเสนอแนะ	145
บรรณานุกรม		146
ภาคผนวก		156
	ภาคผนวก ก	157
	ภาคผนวก ข	171
	ภาคผนวก ค	179
	ภาคผนวก ง	184
	ภาคผนวก จ	186
	ภาคผนวก ฉ	189
	ภาคผนวก ช	216
ประวัติย่อของผู้วิจัย		220

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3-1 การจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (3x3) โดยกำหนดให้ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) เป็นปัจจัยหลักองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแตกต่างกัน 3 วิธี 47

3-2 การจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (2x7) โดยกำหนดให้ชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหลัก 50

4-1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผงที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี 53

4-2 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี 54

4-3 สมบัติทางกายภาพของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี..... 55

4-4 ปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี 56

4-5 ปริมาณโปรตีน และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ..... 58

4-6 ค่าสี L* a* b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณต่าง ๆ 59

4- 7 สัดส่วนการพองตัวและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 60

4- 8 ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 61

4- 9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 62

4-10 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของค่าต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ ด้วยวิธี Scoring..... 64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-11 ผลคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ ในด้านต่าง ๆ ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale 65

4-12 ค่า F(p) ของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 68

4-13 เส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลาย ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ผลิตจากการแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 69

4-14 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ส่วนผสมความชื้นร้อยละ 15 20 และ 25 72

4-15 ค่า F(p) ของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ 77

4-16 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ 78

4-17 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรล 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส 79

4-18 ค่า F(p) ของสมบัติกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 80

4-19 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ 81

4-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-21 ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 86

4-22 ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 88

4-23 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 93

4-24 ค่าความแข็ง และความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 96

4-25 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ ราของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 97

4-26 ค่า F(p) ของผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 98

4-27 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 99

4-28 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 101

4-29 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน 101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-30 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 102

ค-1 ตาราง MPN 183

ฉ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 190

ฉ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 190

ฉ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 190

ฉ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเถ้าของน้ำหมึกผงผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 191

ฉ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 191

ฉ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 191

ฉ-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 192

ฉ-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 192

ฉ-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ . 192

ฉ-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ.. 193

ฉ-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ.. 193

ฉ-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการละลายของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 193

ฉ-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนาแน่นของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ 194

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ..... 194

ฉ-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 194

ฉ-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 195

ฉ-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 195

ฉ-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 195

ฉ-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 196

ฉ-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 196

ฉ-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่น ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ..... 196

ฉ-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัดส่วนการพองตัว ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 197

ฉ-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 197

ฉ-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 197

ฉ-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 198

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ 198

ฉ-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีดำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 198

ฉ-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นคาวของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 199

ฉ-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสหมึกของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 199

ฉ-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความแข็งของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 199

ฉ-31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 200

ฉ-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลางขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 200

ฉ-33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 201

ฉ-34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 201

ฉ-35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายน้ำของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 202

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ-36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง จากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 202

ฉ-37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 203

ฉ-38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 203

ฉ-39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 204

ฉ-40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 204

ฉ-41 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 205

ฉ-42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอกจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน..... 205

ฉ-43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านสีของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 206

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ-44 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 206

ฉ-45 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรสของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 207

ฉ-46 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 207

ฉ-47 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านการยอมรับโดยรวมของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 208

ฉ-48 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 208

ฉ-49 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 209

ฉ-50 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 210

ฉ-51 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 210

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ-52 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 210

ฉ-53 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 211

ฉ-54 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ..... 211

ฉ-54 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ 212

ฉ-55 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน..... 212

ฉ-56 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านสีของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 213

ฉ-57 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน..... 213

ฉ-58 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 214

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ-59 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 214

ฉ-60 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านการยอมรับโดยรวมของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน 215

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3-1 ถุงน้ำหมึกของหมึกกล้วย 41

3-2 ส่วนประกอบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) 44

4-1 ลักษณะของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ก) การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท 6 ชั่วโมง (ข) และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ค) 51

4-2 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง 57

4-3 ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ 67

4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิของบาร์เรลและค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0.... 70

4-5 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 8 เท่า 75

4-6 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า 76

4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิของบาร์เรลและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0..... 79

4-8 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในถุงที่ใช้ฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP (ก) และถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP (ข)..... 83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP 85

4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w และระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และOPP/MPET/CPP 87

4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกและระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และOPP/MPET/CPP..... 89

4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH แลระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ... 90

4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดOPP/CPP และ OPP/MPET/CPP..... 91

4-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระและระยะวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP 92

4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและระยะวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และOPP/MPET/CPP 94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกเปราะระยะวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดOPP/CPP และOPP/MPET/CPP 95

ข-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) และ ค่าความแตกเปราะ (fractulability) ด้วยหัววัด HDP/3PB.....176

ข-2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะ 177

ช- 1 ถุงน้ำหมึกของหมึกกล้วย (ก) และน้ำหมึกที่รีดได้จากถุงหมึกกล้วย (ข).....217

ช- 2 ลักษณะและส่วนประกอบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ระดับปฏิบัติการแบบสกรูเดี่ยว.....218

ช-3 ลักษณะและเครื่องมือการบรรจุและปิดผนึกขนมขบเคี้ยวแบบปรับสภาพบรรยากาศโดยพ่นก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 99.99 219

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หมึกกล้วย (squid / splendid squid) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Loligo* spp. เป็นหมึกที่เป็นที่รู้จักและนิยมนำเนื้อมาบริโภคมากที่สุด หมึกกล้วยมีโปรตีนสูง โดยในพื้นที่ตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี มีการบริโภคหมึกกล้วยเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีถุงน้ำหมึกจากหมึกกล้วยเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากด้วย ดังนั้นน้ำหมึกจึงถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปหมึกเพื่อการบริโภคและจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล มีรายงานการนำน้ำหมึกมาใช้ประโยชน์ในทางยาและในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น มีการใช้เป็นยารักษาระดับฮอร์โมนในผู้หญิง ในประเทศจีนมีการนำมาใช้เป็นยารักษาโรคหัวใจ ในประเทศญี่ปุ่นมีการนำน้ำหมึกมาใช้ในการหมักเนื้อหมึก และช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ในประเทศแถบตะวันตกมีการนำมาทำพาสต้าหมึกดำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคคุ้นเคยเป็นอย่างดี โดยการเติมน้ำหมึก (squid ink) ในส่วนผสมแป้งข้าวสาลีเพื่อเป็นสารให้สีและเพิ่มกลิ่นรสให้แก่ผลิตภัณฑ์ (Charles, 2014) น้ำหมึกประกอบด้วยรงควัตถุเมลานิน (ร้อยละ 90) และโปรตีน (ร้อยละ 5.8) นอกจากนี้น้ำหมึกยังมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านเนื้องอก สารต้านมะเร็ง และสารต้านแบคทีเรีย (Nair et al., 2011; Vate & Benjakul, 2013) แม้ว่าน้ำหมึกประกอบด้วยสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ แต่การใช้ประโยชน์จากน้ำหมึกในผลิตภัณฑ์อาหารยังมีน้อย ทั้งนี้เพื่อให้การนำน้ำหมึกมาใช้ประโยชน์ในอาหารมีความสะดวกขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการแปรรูปน้ำหมึกเป็นน้ำหมึกผง โดยใช้กระบวนการทำแห้ง 3 วิธี ได้แก่ การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dry) เนื่องจากเป็นวิธีการทำแห้งที่ง่ายและสะดวก ไม่ซับซ้อน การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dry) ซึ่งเป็นวิธีที่ตัวอย่างสัมผัสอากาศน้อย จึงอาจทำให้สารบางชนิดที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูญเสียได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศยังคงอยู่ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้ดี โดย Samoticha, Wojdylo, and Lech (2016) ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของโช๊คเบอร์รี่ (chokeberry) พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสารประกอบทางชีวภาพและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูง

ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบสุญญากาศ การทำแห้งแบบลมร้อน การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ และการทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ ร่วมกัน ต่อมา Qinqin et al. (2017) ได้ศึกษาวิธีกาทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัตินการต้านอนุมลอิสระของมัลเบอรี่สีดำ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน

ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง (expanded snack) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทุกเพศทุกวัย ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองออกมาจำหน่ายในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย และมีการบริโภคเพิ่มมากขึ้นเพราะเป็นอาหารว่างที่รับประทานง่าย สะดวกในการซื้อและพกพา อีกทั้งยังมีหลากหลายรสชาติให้เลือก ตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึง 2.9 หมื่นล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 1.42 ของตลาดโลก และมีอัตราการเติบโตในปี 2552-2557 เฉลี่ยร้อยละ 9 ต่อปี (พรพรรณ ปัญญาภิรมย์, 2558) กระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองนั้นมีหลากหลายกระบวนการ ปัจจุบันได้นำกระบวนการเอกซ์ทรูชันมาใช้ในเป็นกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวกรอบพองมากขึ้น เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สะอาด และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งนี้กระบวนการเอกซ์ทรูชันจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ซึ่งความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิของบาร์เรล อัตราการป้อน ความเร็วรอบของสกรูถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน Ding, Ainsworth, Plonkell, and Marson (2005) รายงานว่าสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้แก่ อัตราการป้อนตัวอย่าง (20-32 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ความชื้นของตัวอย่าง (ร้อยละ 14-22) ความเร็วรอบของสกรู (180-320 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิบาร์เรล (100-140 องศาเซลเซียส) มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าว Sangnark, Limroongreungrat, Yuenyongputtakal, Ruengdech, and Siripatrawan (2015) ได้รายงานว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวหอมนิลด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว คือ การปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) และชุดที่ 2 (compression zone) เท่ากับ 120 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 250 รอบต่อนาที และความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลที่เหมาะสมคือร้อยละ 15 ซึ่งทำให้ได้ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองที่ได้มีสัดส่วนการพองตัวสูง ความหนาแน่นต่ำ มีลักษณะแข็งกรอบ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากสภาวะในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง

วัตถุดิบก็มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองนั้นมีหลายชนิด ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ข้าวเจ้ามาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง เนื่องจากข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในประเทศและเป็นวัตถุดิบที่ปราศจากกลูเตน อีกทั้งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาทำเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน Jongsutjarittam and Charoenrein (2014) รายงานว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้าผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้นมีความพองตัวดี ไม่ยุบตัวเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งข้าวเหนียว เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองนั้นยังมีสตาร์ชเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้เมื่อรับประทานเข้าไปจึงมีคาร์โบไฮเดรตอยู่สูง การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง อาจทำได้โดยการเติมส่วนผสมอื่นที่มีประโยชน์เข้าไป โดยในงานวิจัยนี้สนใจเสริมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากน้ำหมึกผง ดังนั้นเมื่อนำแป้งข้าวเจ้ามาใช้เป็นวัตถุดิบและมีการเติมส่วนผสมอื่นเข้าไป การศึกษาผลของตัวแปรหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านของคุณลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการจึงเป็นสิ่งสำคัญ

การเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจส่งผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความชื้น ออกซิเจน และแสง รวมทั้งชนิดของบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาจึงเป็นสิ่งสำคัญ (ณัฐดนัย หาญการสุจริต, 2559) ฟิล์มพลาสติกประกบหรือฟิล์มพลาสติกลามิเนตรวมทั้ง พลาสติกที่ผ่านการเคลือบด้วยโลหะแล้วนำมาประกบกับฟิล์มพลาสติกอื่น ๆ เช่น OPP/CPP, PET/MCPP, OPP/MPET/CPP, PET/ MPET/LLDPE เป็นฟิล์มพลาสติกที่เหมาะกับนำมาทำบรรจุภัณฑ์สำหรับขนมขบเคี้ยว (ธวัช นุสนธรา และพิริยะ ศรีเจ้า, 2557) จากงานวิจัยของอาภัสรา แสงนาค, อัญชลี เรืองเดช, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ (2555) ได้ทำการศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวหอมนิล โดยแปรชนิดบรรจุภัณฑ์ระหว่าง ถุงพลาสติกชนิด oriented polypropylene (OPP) และ metallized oriented polypropylene (met OPP) และทำการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ ซึ่งพบว่า ถุงพลาสติกชนิด met OPP และปิดผนึกแบบสุญญากาศนั้นเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลานาน แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวยังคงมีอยู่น้อย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้ รวมทั้งนำน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เตรียมได้มาเติมลงในขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าว โดยทำการปรับสภาวะกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ใช้ในการผลิตให้เหมาะสม และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย
2. เพื่อหาปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า
3. เพื่อศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา

สมมติฐานของการวิจัย

1. วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย
2. ปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองที่แตกต่างกัน
3. ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่แตกต่างกัน
4. ชนิดของบรรจุภัณฑ์และเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่แตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มมูลค่าให้กับน้ำหมึกจากหมึกกล้วยโดยนำมาแปรรูปเป็นน้ำหมึกผงเพื่อมาเติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า

2. ช่วยลดปริมาณวัสดุที่เหลือเกิดจากการบริโภคและอุตสาหกรรมหมึกกล้วย

3. ได้พัฒนากระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่มีการใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชันซึ่งเป็นเทคโนโลยีสะอาด

4. เพิ่มทางเลือกในการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการและมีสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

ขอบเขตในการวิจัย

1. ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งน้ำหมึกจากหมึกกล้วย 3 วิธี ได้แก่ การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 9±2 ที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

2. ศึกษาผลของปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า

3. ตรวจสอบผลของความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชัน ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสม ร้อยละ 15 20 และ 25 และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส ที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า

4. ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ฟิล์มพลาสติกต่างชนิดกัน 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ซึ่งทำจากฟิล์พลาสติกชนิด oriented Polypropylene (OPP) หนา 50 ไมครอน เคลือบด้วยฟิล์ม cast polypropylene (CPP) หนา 40 ไมครอน และถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ซึ่งทำจากฟิล์พลาสติกชนิด oriented polypropylene (OPP) หนา 50 ไมครอน เคลือบด้วยฟิล์ม metalized polyethylene terepthalate (MPET) หนา 12 ไมครอน และ cast polypropylene (CPP) หนา 40 ไมครอน ที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลา 0-12 สัปดาห์

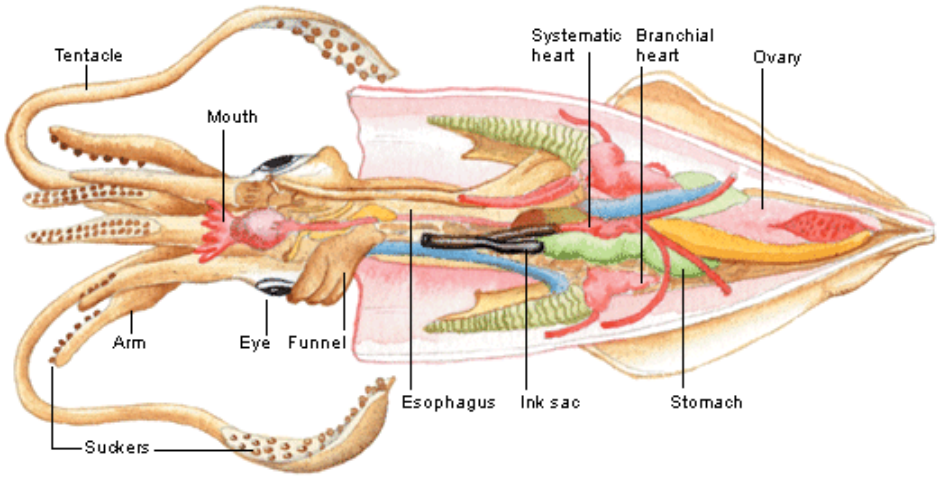
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวของ

หมึกกล้วย

หมึกกล้วย (squid/splendid squid) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Loligo* spp. นับเป็นหมึกที่มนุษย์คุ้นเคยมากที่สุด โดยนิยมนำเนื้อมาปรุงอาหารและบริโภค หมึกจัดเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและอีกหลายประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หมึกถูกนำมาปรุงเป็นอาหารมากมายหลายชนิด ทั้งหมดล้วนแต่ใช้ส่วนที่เป็นเนื้อหมึกทั้งสิ้น ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จะเป็นโปรตีนเป็นหลัก โดยเมื่อดูในรายละเอียดในด้านคุณภาพของโปรตีนในเนื้อหมึกโดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน พบว่าเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายสูง โดยเฉพาะไลซีนและทรีโอนีนซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตในเด็ก และจากการประเมินคุณภาพของโปรตีนโดยใช้ค่าคะแนนของกรดอะมิโน (amino acid score) พบว่าโปรตีนของหมึกมีคุณภาพดีพอสมควร โดยหมึกกล้วยได้คะแนนเท่ากับ 74 (น้ำนมวัวซึ่งมีค่าเท่ากับ 91) นอกจากโปรตีนก็จะมีส่วนที่เป็นไขมันและวิตามินต่าง ๆ เช่น บีหนึ่ง บีสอง และไนอะซิน (ชาติ ประชาชื่น, 2556)

หมึกกล้วยมีรูปร่างเรียวยาว ลำตัวกลม มีระยางค์เหมือนครีบเป็นรูปสามเหลี่ยมอยู่ทางด้านซ้ายและขวา มีหนวดทั้งหมด 10 หนวด และจะมีอยู่คู่หนึ่งที่ยาวกว่าหนวดอื่น ๆ ใช้สำหรับหยิบจับอาหาร เรียกว่าเป็นหนวดล่าเหยื่อ หรือหนวดจับ โดยหนวดอื่น ๆ นั้นจะใช้สำหรับช่วยเพื่อไม่ให้อาหารหลุดไป ก่อนที่จะกัดกินเข้าปาก ภายในลำตัวมีแคลเซียมแข็งลักษณะโปร่งใส เรียกว่า เพน (pen) ที่มีขนาดเล็กและบางกว่าลิ้นทะเลที่เป็นแคลเซียมแข็งเช่นเดียวกัน ในกลุ่มหมึกกระดอง หมึกกล้วย เป็นสัตว์ที่เปลี่ยนสีลำตัวได้อย่างรวดเร็วมาก โดยใช้การบีบรัดของเม็ดสี ตั้งแต่สีแดง น้ำเงิน และเขียว โดยทั่วไปแล้ว หมึกกล้วยเมื่ออยู่ในทะเลจะมีลำตัวสีน้ำเงินเพื่อให้กลมกลืนไปกับสภาพของน้ำทะเล แต่เมื่อถูกจับขึ้นมาแล้วหรือขึ้นมาใกล้ ๆ กับผิวน้ำ จะเปลี่ยนสีตัวเองเป็นสีแดงเข้ม หมึกกล้วย ใช้วิธีการป้องกันด้วยการพ่นหมึก ซึ่งเป็นของเหลวสีดำคล้ำซึ่งประกอบด้วยเมลามิน และสารเคมีประเภทอื่น ใช้สำหรับการหลบหนี โดยการพ่นหมึกของหมึกกล้วยนั้น ส่วนมากจะใช้วิธีการพ่นแบบกลุ่มก้อนหมึกให้เป็นกลุ่มใหญ่ และตัวหมึกจะซ่อนตัวอยู่ในนั้น อันเนื่องจากหมึก

กล้วยเป็นหมึกที่ว่ายอยู่ในระดับกลางน้ำรวมถึงสรีระที่มีแกนแข็งอยู่ภายใน จึงไม่สามารถหาที่หลบซ่อนหรือเข้าไปซ่อนในที่กำบังต่าง ๆ ได้เหมือนอย่างหมึกสาย (ชาติ ประชาชื่น, 2556)

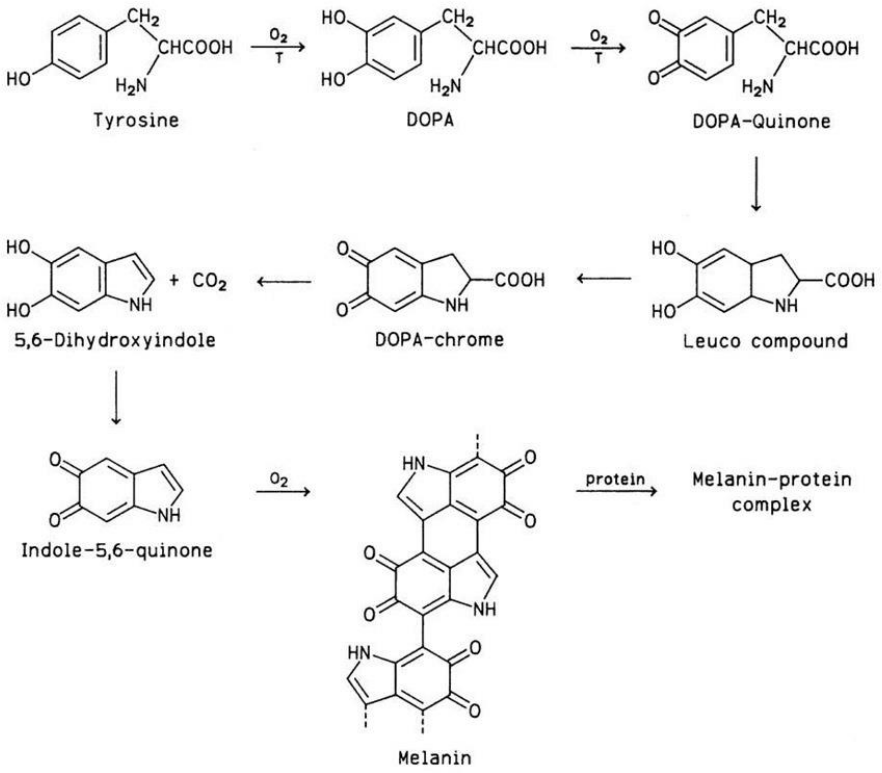


ภาพที่ 2-1 ลักษณะสัญฐานวิทยาของหมึก (squid) (Cephalopoda, 2016)

น้ำหมึก

น้ำหมึก (sqiud ink) เป็นของเหลวสีดำที่อยู่ภายในอวัยวะของหมึกที่เรียกว่า ถุงหมึก (ink sac) ดังภาพที่ 2-1 น้ำหมึกอาจถูกเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ดีปลาหมึก โดยน้ำหมึกเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้หมึกเป็นวัตถุดิบ ซึ่งหากไม่มีการกำจัดอย่างถูกวิธี อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษได้ น้ำหมึกประกอบด้วยสารหลายชนิดและมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของหมึก ทั้งนี้องค์ประกอบหลัก ได้แก่ เมลานิน และสารเมือก นอกจากนั้น ยังประกอบไปด้วย เอนไซม์ tyrosinase สาร dopamine และ L-DOPA และประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น taurine, aspartic acid, glutamic acid, alanine และ lysine Choi et al. (2014) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของน้ำหมึกซึ่งผ่านการทำให้เข้มข้นจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 23 พบว่าประกอบไปด้วย โปรตีนร้อยละ 55.2 ไขมัน ร้อยละ 0.7 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 16.6 และ เถ้าร้อยละ 4.4

ในน้ำหมึกยังประกอบด้วยเมลานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีดำประมาณร้อยละ 30.8 ซึ่งโดยธรรมชาติมีประโยชน์เพื่อการป้องกันตัวเอง ใช้พ่นใส่ศัตรูผู้ โดยจะทำให้เกิดอาการมึนงงไปชั่วขณะหรือเพื่อการพรางตัว แต่นอกจากจะเป็นเครื่องมือป้องกันตัวเองแล้ว เมลานินซึ่งเป็นรงควัตถุสีดำที่พบมากในน้ำหมึกนั้น เกิดมาจากกรดอะมิโนไทโรซีน โดยมีเอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกริยาเกิดสารประกอบ DOPA และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจนเกิดเป็นสารประกอบเมลานิน ดังภาพที่ 2-2 น้ำหมึกยังมีสรรพคุณที่น่าสนใจ ในประเทศญี่ปุ่น จีน หรือ ประเทศในแถบยุโรป ได้ใช้น้ำหมึกเป็นยารักษาโรคมาช้านานแล้ว โดยมีผู้ศึกษาพบว่าน้ำหมึกมีสรรพคุณในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial activity) และยังมีผลกับการหลั่งของน้ำย่อยด้วย (gastric juice secretion activity) แต่ก็ยังไม่มีใครได้ศึกษาชัดเจนลงไปว่าสารใดในน้ำหมึกที่เป็นสารออกฤทธิ์ดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหมึกมีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งการเกิดเนื้องอก (antitumor) (Nair et al., 2011; Vate & Benjakul, 2013) นอกจากนี้สายันต์ รวดเร็ว (2551) ได้รายงานว่าการให้ความร้อนแก่น้ำหมึกที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ไม่ได้ทำลายฤทธิ์การยับยั้งเนื้องอก โดยสาร peptidoglycan ที่สกัดจากน้ำหมึก มีสมบัติยับยั้งการเกิดเนื้องอกในหนู และพบว่าโครงสร้างและองค์ประกอบของสาร peptidoglycan มีบางส่วนเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างชนิดใหม่ อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าน้ำหมึกเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ทั้งนี้ได้มีการเอาน้ำหมึกมาใช้เป็นยารักษาโรคมานานแล้ว (McConnell et al., 1994) โดย Liu et al. (2011) ได้รายงานถึงผลของน้ำหมึกในการกระตุ้นการเติบโต การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และการส่งเสริมความต้านทานโรคที่ในไก่เนื้อ ทั้งนี้มีรายงานว่าน้ำหมึกจากหมึกสายพันธุ์ *Sepioteuthis lessoniana* และ *Sepia pharaonis* มีฤทธิ์ในการต้าน biofilm จากแบคทีเรีย (Ramasa & Murugan, 2005) โดยโปรตีนที่สกัดจากหมึกกระดอง (cuttlefish) *S. lessoniana* สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Staphylococcus aureus* (Atushi, 1979) โดย Takai et al. (1992) รายงานว่าเอนไซม์ Tyrosinase ในน้ำหมึกบทบาทสำคัญในการยับยั้งของจุลินทรีย์ มีรายงานว่าน้ำหมึกจากหมึกสายพันธุ์ *Sapia officinalis* (Lei et al., 2007) *Sapiella inermis* (Rejaganapathy et al., 2000) มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้ Vate and Benjakul (2013) รายงานว่าน้ำหมึกที่สกัดเอาสารเมลานินออกแล้ว มีความคงตัวต่อความร้อน และมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 2-2 การเกิดสารประกอบเมลานิน (FOOD BROWNING, ม.ป.ป.)

ในปัจจุบันการใช้น้ำหมึกยังจำกัดอยู่ที่การใช้เป็นหมึกเพื่อเขียน และการนำไปเป็นส่วนผสมในอาหาร เช่น ขนมขบเคี้ยว พาสต้า ข้าว ซอส ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพื่อทำให้เกิดสีและกลิ่นรสเฉพาะ โดยรูปแบบการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารดังกล่าว จะเป็นลักษณะน้ำหมึกสด น้ำหมึกเข้มข้น หรือแบบเป็นผง (squid ink powder) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมน้ำหมึกผงที่ใช้สำหรับผสมในอาหาร รวมทั้งสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำหมึกผงที่ได้ยังมีอยู่อย่างจำกัด

กระบวนการทำแห้ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

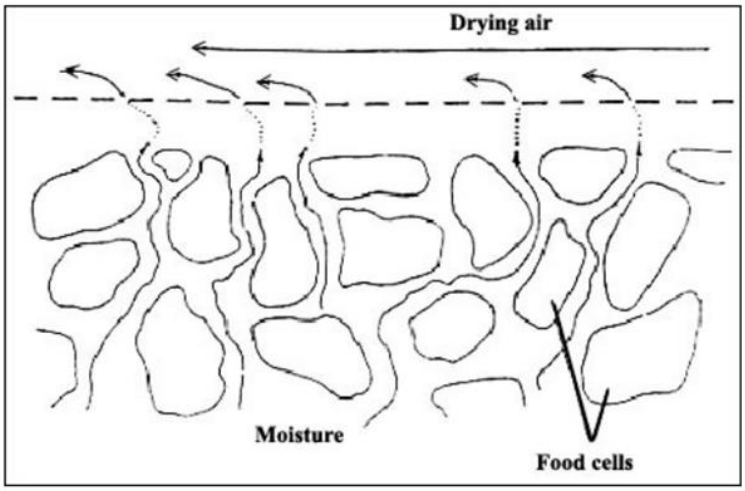
การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบ

ระเหิด (freeze drying) คำจำกัดความนี้จะไม่รวมถึงการกำจัดน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การแยกโดยทางกล การทำให้ข้นโดยการใช้เมมเบรน การระเหย และการอบ เนื่องจากในกระบวนการเหล่านี้จะมีการกำจัดน้ำน้อยกว่าการทำให้แห้ง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการมักจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องทำแห้งคือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้งโดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด

การทำแห้งโดยการใช้อากาศหรือลมร้อน (hot air)

กลไกการทำแห้งคือ เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังแสดงใน ภาพที่ 2-3

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อย ๆ ลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าของอาหาร

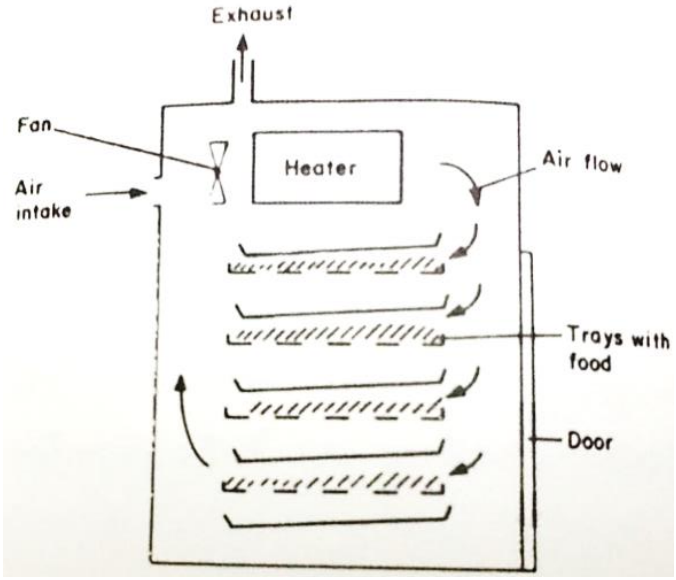


ภาพที่ 2-3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ย ๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบาง ๆ ขนาด 2-6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแบฟเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ (1-20 ตันต่อวัน) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ภาพที่ 2-4 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป

การทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying)

หลักการทำแห้งแบบสุญญากาศ คือเมื่ออากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งนั้นอยู่ในสภาวะสุญญากาศทำให้อากาศนั้นมีความดันของไอน้ำต่ำและความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำเมื่อมีวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นโดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น และความดันไอ และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรง capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (surface force) โดยอากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งอาจจะไม่ต้องจำเป็นต้องให้ความร้อนมากเท่ากับการอบแห้งลมร้อน เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในวัสดุเมื่ออยู่ในสภาวะความดันสุญญากาศแล้วนั้นอาจจะมีการเดือดเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุทำให้เหมือนเป็นการเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารโดยน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของเหลวหรือไอน้ำ แล้วระเหยอย่างรวดเร็วซึ่งถ้าของเหลวที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศต่ำมาก ๆ แล้วนั้นอาจจะทำให้ผิวของวัสดุที่อบแห้งมีความเป็นรูพรุนสูงเนื่องจากมีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ (ฤทธิไกร งามชุ่ม, 2547)



ภาพที่ 2-4 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป (วิไล รังสาดทอง, 2546)

ในขณะที่ ณัฏยา คนซื่อ (2545) กล่าวถึง หลักการทั่วไปของการอบแห้งแบบสุญญากาศ เป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศและอุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้นแม้จะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ส่วนมากประกอบไปด้วยห้องหรืออุโมงค์ ที่สามารถลดความดันภายในได้ ภายในห้องมีถาดหรือสายพานที่ใช้วางอาหารในการปฏิบัติงาน อาหารที่นิยมใช้กับวิธีการอบแห้งชนิดนี้ มักเป็นอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิสูง เช่น ผักหรือผลไม้ที่มีกลิ่นหอม ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสลายตัวของวิตามินบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อน การสูญเสียกลิ่นรสเนื่องจากการสูญเสียสารระเหยง่าย แต่อาจเกิดความเสียหายต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารบ้างในบางครั้ง เพราะในระหว่างการดึงน้ำออกภายใต้สุญญากาศจะทำให้น้ำระเหยเร็วมาก ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้งเกิดการแข็งและหดตัวทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ผิวหน้าแต่ภายในยังแฉะอยู่ ซึ่งเป็นข้อเสียของการทำแห้งโดยวิธีนี้ สำหรับระบบการทำงานของการทำแห้งแบบสุญญากาศซึ่งเป็น การอบแห้งในระบบความดันต่ำจุดเดือดของน้ำจะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยการลดความดัน ถ้าลดความดันบรรยากาศให้ต่ำลงเท่ากับ 0.6107 kPa จุดเดือดของน้ำจะเป็น 0 องศาเซลเซียส ระดับความดันและอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งในระบบนี้ขึ้นอยู่กับความไวต่อความร้อนของวัตถุดิบ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในระบบเป็นการนำความร้อนและการแผ่รังสี อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำระเหยไปจะทำให้อาหารหดตัว ซึ่งจะทำ

ให้พื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนลดลง เครื่องอบแห้งความดันต่ำที่ใช้สำหรับอบแห้งผักหรือผลไม้เป็นแบบถาดหรือชั้น ในกรณีที่ต้องการกำลังการผลิตสูงสามารถปรับใช้สายพานแบบต่อเนื่อง แต่ต้องมีระบบลดความดันที่มีประสิทธิภาพและขนาดใหญ่ขึ้น

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้หลักการของการถ่ายเทมวลของน้ำออกจากวัตถุดิบ โดยความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกวัตถุดิบ โดยมีหลักการคือ ภายในห้องอบแห้งจะมีการลดความดันให้ต่ำลงกว่าความดันภายในของวัตถุดิบส่งผลทำให้ปริมาณน้ำในวัตถุดิบเคลื่อนที่ออกมาได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีการใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ๆ สารอาหารรวมทั้ง กลิ่นรสของวัตถุดิบยังคงถูกเก็บรักษาไว้ได้ (ไพบูลย์ ธรรมรัตนวาสิก, 2532)

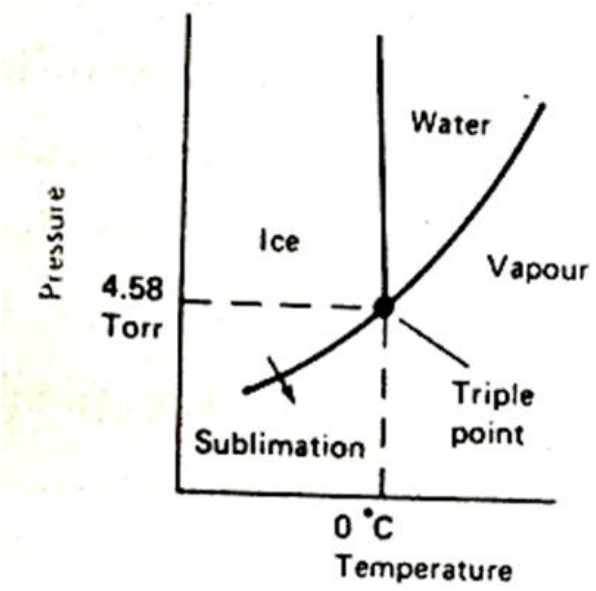
ภาพที่ 2-5 ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง หรือการทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying)

ความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งจะช่วยกำจัดน้ำและเป็นการถนอมรักษาอาหารโดยการลดค่า a_w อย่างไรก็ตามความร้อนดังกล่าวเป็นต้นเหตุทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัสหรือคุณค่าทางโภชนาการ กรรมวิธีการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะให้ผลในการเก็บ

รักษาอาหารคล้ายคลึงกันคือการลดค่า a_w โดยไม่ต้องให้ความร้อนแก่อาหาร ดังนั้นอาหารที่ได้จึงมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าอาหารแห้งทั่วไป

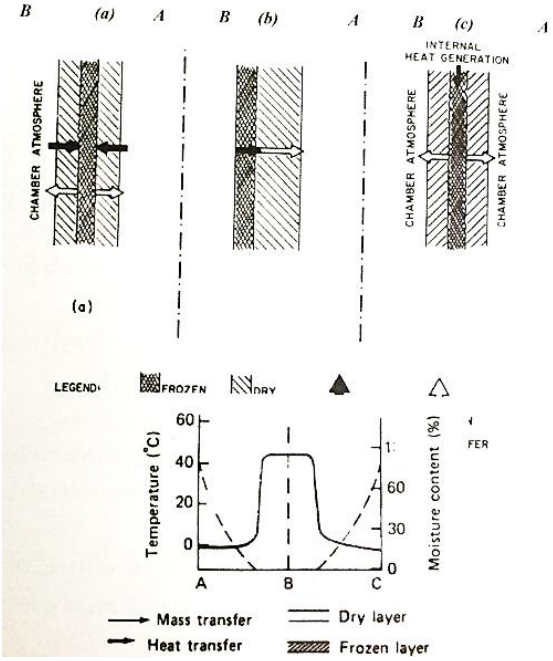
ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็ง ของเหลวและก๊าซของน้ำเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปอาหารหลายชนิด เช่น การทำให้เข้มข้น การอบแห้ง การแช่เยือกแข็ง การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถอธิบายความสัมพันธ์นี้ได้โดยใช้แผนภาพวัฏภาคหรือเฟสไดอะแกรม (phase diagram) ของน้ำดังในภาพที่ 2-6 แผนภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นความเป็นเนื้อเดียวกันและความแตกต่างทางกายภาพของระบบที่สามารถแยกระบบออกจากอีกระบบหนึ่งโดยเส้นแบ่งของทั้งสองสถานะของน้ำบริสุทธิ์ แผนภาพดังกล่าวแสดงความดันและอุณหภูมิของวัฏภาคของน้ำ เส้นแบ่งแต่ละเส้นแสดงอุณหภูมิและความดันที่ทำให้เกิดสถานะสมดุล จุดทริปเปิล (triple point) เป็นจุดที่ทุกเส้นมาตัดกัน เป็นจุดที่แสดงว่าทั้งสามสถานะอยู่ในภาวะสมดุล



ภาพที่ 2-6 เฟสไดอะแกรมของน้ำ แสดงการระเหิดของน้ำแข็ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

ขั้นตอนแรกของการอบแห้งแบบระเหิดคือการแช่เยือกแข็งอาหารในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบดั้งเดิม ชนิดของเครื่องมือขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหาร อาหารชิ้นเล็ก ๆ จะถูกแช่เยือกแข็งอย่าง

รวดเร็วเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับเซลล์ของอาหาร มีการใช้การแช่เยือกแข็งแบบช้ากับอาหารเหลวเพื่อให้เกิดโครงตาข่ายของผลึกน้ำแข็งเพื่อเป็นช่องให้ไอน้ำเคลื่อนที่ได้



ภาพที่ 2-7 การถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างการอบแห้งแบบระเหิด (a) ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านผิวร้อนหรือเครื่องทำความร้อนผ่านชั้นแห้ง (b) ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเยือกแข็ง (c) ความร้อนเกิดขึ้นในน้ำแข็งโดยคลื่นไมโครเวฟ กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (--) และปริมาณความชื้น (-) ตามแนว A-->B-->C ในแต่ละตัวอย่าง
(วิไล รังสาดทอง, 2546)

ถ้าความดันไอของอาหารต่ำกว่า 4.58 ทอร์ (610.5 ปาสคาล) และน้ำเกิดการเยือกแข็ง เมื่ออาหารได้รับความร้อนน้ำแข็งจะระเหิดไปเป็นไอน้ำทันทีโดยไม่ผ่านการละลาย ไอน้ำจะถูกกำจัดออกจากอาหารอย่างต่อเนื่องด้วยการรักษาความดันในตู้ให้ต่ำกว่าความดันไอน้ำที่ผิวของน้ำแข็ง ไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศและกลั่นตัวบนขดลวดทำความเย็น เมื่อกระบวนการทำแห้งดำเนินต่อไป ผิวหน้าของการระเหิดจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหาร (ภาพที่ 2-7) ความร้อนแฝงของ

การระเหิดจะเคลื่อนที่ผ่านอาหารไปยังผิวหน้าของการระเหิดหรือเกิดขึ้นในอาหารถ้าใช้ไมโครเวฟไอน้ำจะเคลื่อนที่และถูกกำจัดออกไปจากอาหารโดยผ่านช่องน้ำแข็งที่ระเหิดไป การทำแห้งอาหารจะเกิดขึ้นใน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกโดยการระเหิดจนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 15 (น้ำหนักเปียก) และขั้นตอนที่ 2 คือการทำแห้งโดยการกำจัดน้ำที่ยังเป็นของเหลวจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 2 (น้ำหนักเปียก) การกำจัดน้ำเกิดขึ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องทำแห้งจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องโดยยังรักษาความดันต่ำอยู่

ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหารการอบแห้งจะระเหยไล่ความชื้นหรือน้ำออกจากอาหารและเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีการอบแห้งจะทำให้คุณภาพของอาหารลดลง

2) ผลของการอบแห้งที่มีต่อโปรตีน อาหารโปรตีนจะสูญเสียคุณค่าไปมากน้อยเพียงไรนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการอบอาหารให้แห้ง ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิสูง โปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อทำให้อาหารแห้งจะสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้มากกว่า แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีน

3) ผลของการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเกิดการเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำหรือใช้สารเคมีบางชนิดป้องปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้พวกสารกันหืน

4) ผลของการอบแห้งต่อการดูดคืนน้ำ การดูดคืนน้ำไม่ใช่ปฏิกิริยาย้อนกลับของการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัสการเคลื่อนที่ของตัวละลายและการสูญเสียสารระเหยไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปเหมือนเดิมได้ ความร้อนลดระดับการดูดคืนน้ำของแป้งและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและระดับของการดูดคืนน้ำอาจใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ อาหารที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมากกว่าจะเกิดความเสียหายน้อยกว่า และดูดคืนน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่ทำแห้งที่สภาวะที่เหมาะสมน้อยกว่า

อรพรรณ จันทร์กลับ และคณะ (2553) ได้ศึกษาการนำเลือดปลาทูน่าจากกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋องมาทำแห้ง 2 วิธี คือการอบแห้งโดยใช้ตู้ลมร้อนและการทำแห้งแบบระเหิดโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง พบว่า การอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ไม่ควรอุณหภูมิเกิน 60

องศาเซลเซียส เนื่องจากหากอุณหภูมิสูงจะมีผลต่อคุณสมบัติองค์ประกอบโปรตีน อย่างไรก็ตาม ต้องใช้เวลาอบแห้งนานมากกว่า 48 ชั่วโมง และเลือดผงที่ได้มีสีคล้ำ สำหรับการทำแห้งแบบระเหิดซึ่งทำให้โดยนำเลือดเข้มข้นไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง แล้วจึงอบแห้งต่อด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2–3 ชั่วโมง พบว่า เลือดผงที่ได้มีลักษณะปรากฏและคุณสมบัติทางเคมีดีกว่าเลือดผงที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสามารถนำมาอัดเป็นเม็ดและบรรจุแคปซูลได้

อนุมูลอิสระ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

อนุมูลอิสระ (free radicals) หมายถึง สารที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpaired electrons) ในอะตอมหรือโมเลกุล พบได้ทุกแห่งทั้งในสิ่งแวดล้อม ในสิ่งมีชีวิต และในเซลล์ โดย เฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ หรือจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) โดยมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของออกซิเจน ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลออกซิเจนไม่สมดุลกลายเป็นอนุมูลอิสระและว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยามาก และสามารถดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นมาแทนที่อิเล็กตรอนที่ขาดหายไปเพื่อให้ตัวเองเกิดความสมดุลหรือเสถียร ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และเกิดขึ้นในเซลล์ตลอดเวลา (ดังสมการ 1 และ 2)

$$R^{\cdot} + O_2 \longrightarrow ROO^{\cdot} \quad \text{(สมการ 1)}$$

$$ROO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\cdot} \quad \text{(สมการ 2)}$$

อนุมูลอิสระที่สำคัญที่สุดที่เกิดในเซลล์ที่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ oxygen radical, อนุพันธ์ของ oxygenradical (เช่น superoxide radical และ hydroxylradical), hydrogen peroxide, transition metals (โลหะทรานซิชัน), carbonate radical ($CO_3^{\cdot-}$), nitrate radical($NO_3^{\cdot}$), methyl radical ($CH_3^{\cdot}$), superoxide radical ($O_2^{\cdot}$), peroxyl radical ($ROO^{\cdot}$), reactive oxygenspecies (ROS) เป็นต้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระสามารถทำลายชีวโมเลกุลทุกประเภท ทั้งในเซลล์และส่วนประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น ลิพิด โปรตีน เอนไซม์ ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ คาร์โบไฮเดรต เซลล์เมมเบรน คอลลาเจน ไมโตคอนเดรีย และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เซลล์ตาย การเกิดการกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอในเซลล์ และก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคชรา โรคมะเร็ง โรคหัวใจขาดเลือด โรค

ความจำเสื่อม โรคข้ออักเสบ โรคภูมิแพ้ โรคความดันโลหิต โรคเหงือก โรคเกี่ยวกับสายตา ความผิดปกติของปอดและระบบประสาท โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โรคเกี่ยวกับความผิดปกติของผิวหนัง และโรคลำไส้อักเสบ เป็นต้น

อนุมูลอิสระนอกจากจะเกิดภายในสิ่งมีชีวิตแล้วอนุมูลอิสระสามารถเกิดจากภายนอกสิ่งมีชีวิตหรือในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การได้รับเชื้อโรค เช่น การติดเชื้อโรคไวรัสหรือเชื้อแบคทีเรีย โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน (immune diseases) เช่น ข้ออักเสบรูมาตอยด์ เป็นต้น จากรังสี เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา จากมลภาวะ เช่น ควันบุหรี่ แก๊สจากท่อไอเสีย เช่น ไนตรัสออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ เขม่าจากเครื่องยนต์ ฝุ่นจากกระบวนการประกอบอาหาร เช่น การย่างเนื้อสัตว์ที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง การนำน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่มีอุณหภูมิสูง ๆ กลับมาใช้อีก การทำให้เกิดอาหารประเภทเกรียม ไหม้ หรือเกิดจากการปิ้งย่าง จากยาบางชนิด เช่น โดโซรูบิซิน (Doxorubicin) เพนนิซิลลามิน (Penicillamine) พาราเซตามอล (Paracetamol)

สารต้านอนุมูลอิสระ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ หรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมายหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เป็นเอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygenquenching) จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (metal chelation) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (synergism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระเป็นต้น ตัวอย่างแสดงการดักจับอนุมูลอิสระดังสมการ 3 และ 4

$$R^{\cdot} + AH \longrightarrow RH + A^{\cdot} \text{ (สมการ 3)}$$

$$RO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROH + A^{\cdot} \text{ (สมการ 4)}$$

โดย $R^{\cdot}$ และ $RO^{\cdot}$ คือ อนุมูลอิสระ และ AH คือ สารต้านอนุมูลอิสระ

แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระมี 2 แหล่ง ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์เกิดจากการกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี โดยเป็นสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ propylgallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylatehydroxyanisole, BHT (Butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone สารสังเคราะห์ดังกล่าวนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติเปลี่ยนแปลงไปสารสังเคราะห์นี้มีสภาพคงตัวกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติแต่มีข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยในการบริโภค ขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติสามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืช และสัตว์ ซึ่งเป็นได้ทั้งเอนไซม์ วิตามินและสารอื่น ๆ ตัวอย่างของสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นวิตามิน เช่น vitamin C (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ไซโตพลาซึม) vitamin E (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เมมเบรน) และ glutathione (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระที่ไซโตพลาซึมและ เมมเบรน) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ได้แก่ glutathione peroxidase (GPX), glutathione reductase และ glutathione transferase ซึ่งทำหน้าที่ทำให้โมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นออกซิเจนและน้ำ ส่วนเอนไซม์ superoxid dismutase (SOD) สามารถเปลี่ยน $O_2^{\cdot-}$ เป็น H_2O_2 สารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ ได้แก่ carotenoids และ ubiquinones เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันอนุมูลอิสระออกซิเจนทั้งภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ในภาวะปกติร่างกายของคนเราจะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระ โดยการสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณสารอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และอีกส่วนได้จากสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายรับประทานเข้าไป จำพวกวิตามิน เบต้าแคโรทีน และแคโรทีนอยด์ รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งสารดังกล่าวได้จากพืชผักและผลไม้ ตัวอย่างอาหารที่มีเบต้าแคโรทีนสูง ได้แก่ ผักใบเขียว เช่น ตำลึง และผักบุ้ง อาหารที่มีสีเหลือง เช่น แครอท มะละกอสุก มะม่วงสุก มะเขือเทศ ฟักทอง อาหารที่มีวิตามินซี (vitamin C หรือ aacid) สูง ได้แก่ พืช ผักสีเขียว และผลไม้รสเปรี้ยว เช่น ตำลึง ผักบุ้ง พริกหยวก ฝรั่ง มะขามป้อม ส้ม มะนาว สับปะรด (วิตามินซีจาก พืชผักดังกล่าวมีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระที่แรงมากและละลายน้ำได้ดี) วิตามินอี (vitamin E หรือ tocopherol) ละลายได้ดีในน้ำมัน โดยวิตามินอีมีในน้ำมันจากเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ เช่น รำละเอียดในพวกธัญพืชที่ไม่ขัดขาว ข้าวโพด ข้าวกล้อง ถั่วแดง ถั่วเหลือง ผักกาดหอม เมล็ดทานตะวัน งา น้ำมันรำ เป็นต้น

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้าน อนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ วิธีที่นิยมได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•) วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS•+) และการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะมีการสร้างอนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนและวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างที่สนใจ โดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลงหรือที่เหลือจากค่าการดูดกลืนแสง สารอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ เช่น ABTS•+ และ DPPH• การคำนวณหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหาได้จากอัตราส่วนของการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน (เช่น trolox, vitamin C และ ferrous sulfate) หน่วยของการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณแสดงได้ 2 แบบ คือ (1) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในตัวอย่าง ซึ่งค่าตัวเลขสูงก็แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และ (2) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 50 (IC50)โดยค่าตัวเลขต่ำแสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ทั้งสองแบบสามารถแสดงหน่วยได้หลากหลาย ได้แก่ μM/mg, mM/mg, μM/mL, mM/mL เป็นต้น

1) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (diphenylpicryhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay)

เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•, diphenyl-picryhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตโฟโตรมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เมื่อ DPPH• ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารที่ให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลง ๆ จนเป็นสีเหลือง (ดังสมการ 5) ซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถหาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูตรคำนวณได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการใส่ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น (ก่อนใส่สารตัวอย่าง) ดังนี้

$$DPPH\bullet + AH \rightarrow DPPH\text{-}H + A\bullet \quad \text{(สมการ 5)}$$

DPPH radical scavenging (ร้อยละ) = $[(A_0-A_s)/A_0] \times 100$

โดย A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น และ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมสารตัวอย่าง

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือ โทรล็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) แสดงค่าเป็น TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็น mM/mg หรือ μM/mg ข้อดีของวิธีนี้ คือ ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ส่วนข้อเสีย คือ DPPH• ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริง จึงทำให้เกิด ปฏิกิริยาได้ช้า ทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง และต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอนจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในตัวอย่างที่เป็นเลือดได้ อีกทั้งสารปนเปื้อนและโลหะจะรบกวน (interfere) ซึ่งสามารถเป็นตัวรีดิวซ์แล้วทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้เช่นกัน

2) การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay)

วิธีการนี้อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ (ดังสมการ 7) ซึ่ง $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593นาโนเมตร ปริมาณของ $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ ที่เกิดขึ้นสามารถประมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ในรูป FRAP value เทียบกับกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซึ่งขั้นตอนโดยละเอียดของวิธีการนี้ ได้แก่ การทำ ให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$ ประกอบด้วย นำสารละลาย TPTZ (2,4,6-tri (2-pyridyl)-striazine)ที่ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางมาทำปฏิกิริยากับสารละลายอะซิเทตบัฟเฟอร์ และสารละลายเฟอริกไตรคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต จากนั้นทำการรีดิวซ์เฟอร์ริกโดยการเติมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตหรือสารตัวอย่าง (สารต้านอนุมูลอิสระ) และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย ไม่แพง และสามารถทำซ้ำแล้วให้ผลเหมือนเดิม แต่ข้อเสีย คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกาย และสารละลายที่ใช้อ้างอิงต้องใช้น้ำ ปราศจากไอออน (deionized water)

$$[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+} \; [Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+} \quad \text{(สมการ 7)}$$

การเปลี่ยนแปลงของสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระนั้นอาจเกิดขึ้นเมื่อผ่านการให้ความร้อน โดยเฉพาะในกระบวนการทำแห้ง การทำแห้งในสภาวะที่มีอากาศ เช่น การทำแห้งด้วยวิธีการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดจะทำให้สารต้านอนุมูลอิสระเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้สูญเสียความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลง ในขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะเป็นการทำแห้งในสภาวะสุญญากาศซึ่งโอกาสการเกิดออกซิเดชันจะน้อยกว่า จึงยังสามารถรักษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่า (Demarchi et al., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ศุทธินี ลีลาเหมรัตน์ และศศิธร ตรงจิตภักดี (2554) ที่ได้ศึกษาผลของกรรมวิธีการทำแห้งต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphynyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ในกากลูกหม่อน พบว่าวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะยังคงรักษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน และยังสอดคล้องกับ Samoticha , Wojdylo, and Lech (2016) ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของโช๊คเบอร์รี่ (chokeberry) โดยเปรียบเทียบระหว่างการทำแห้งแบบสุญญากาศ การทำแห้งแบบลมร้อน การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ และการทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ ร่วมกัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสารประกอบทางชีวภาพและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 26.3 mmol trolox/100 g)

ขนมขบเคี้ยว

ความหมายของขนมขบเคี้ยว

อาหารประเภทขนมขบเคี้ยว เป็นอาหารที่รับประทานระหว่างอาหารมื้อหลักครอบคลุมถึงขนม ต่าง ๆ ไม่ว่าจะแปรรูปโดยการทอด นึ่ง หรืออบ รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับอิทธิพลจากซีกโลกตะวันตก (พนิดา เริงกลม, 2536)

ขนมขบเคี้ยว หมายถึง อาหารที่ผู้บริโภคไม่ได้รับประทานเป็นอาหารมื้อหลัก เช่น อาหารมื้อเช้า มื้อกลางวัน หรือมื้อเย็น ถึงแต่จะรับประทานในช่วงระหว่างมื้อหลักเพื่อบรรเทาความหิวหรือความอยากรับประทานอาหารของผู้บริโภค ดังนั้นจึงมักเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อาหารว่าง (จุฬาลักษณ์ จารุนุช, 2550)

ขนมขบเคี้ยว หมายถึง อาหารว่างหรือเป็นขนมที่รับประทานยามว่าง ที่มีไว้เพื่อระงับความหิวของ คนระหว่างมื้อ เป็นขนมที่มีส่วนผสมจากแป้งชนิดต่าง ๆ เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งมันและแป้งข้าวโพด เป็นต้น เกลือ ไขมัน และผงชูรส แต่งกลิ่น รส สี และรสชาติส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกัน คือ หวาน มัน เค็ม ประเภทของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว แบ่งตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ ขนมขึ้นรูป มันฝรั่งทอดกรอบ เนื้อปลาและปลาหมึก ถั่ว สาหร่าย ข้าวเกรียบกุ้ง และข้าวโพดอบกรอบ เป็นต้น (นิภาพร ว่านม่วง, 2557)

จากความหมายของขนมขบเคี้ยวข้างต้น สรุปได้ว่า ขนมขบเคี้ยว เป็นอาหารว่างที่มีขนาดเล็ก อาจ เป็นของหวานหรือของคาวโดยผ่านกระบวนการแปรรูป ซึ่งมีอยู่หลากหลายรูปแบบและรสชาติ รับประทาน เพื่อระงับความหิวระหว่างมื้ออาหาร

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทพร้อมรับประทาน (ready-to-eat) ที่มีความชื้นต่ำ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (snack) หรือ อาหารขบเคี้ยว (snack food) ควรมีลักษณะพื้นฐานดังนี้มีลักษณะรูปร่างขนาดเล็ก อาจเป็นของหวานหรือของคาว โดยที่ผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที หรือมีการเตรียมเพียงเล็กน้อยบริโภคขณะร้อนหรือเย็นในรูปของแข็งหรือของเหลวก็ได้ใช้รับประทานเป็นอาหารว่างหรือโอกาสต่าง ๆ ตามที่ผู้บริโภคต้องการ ซึ่งจะทำให้เกิดความพึงพอใจและประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ได้ ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 สัปดาห์ โดยไม่ต้องอาศัยความเย็น นอกจากอาหารที่ประกอบภายในครัวเรือนแล้วอาหารขบเคี้ยวส่วนใหญ่ยังมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (วิลาสินี ดีปัญญา, 2557)

ในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการเอกซ์ทรูชันมาใช้ในเป็นกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวมากขึ้น เนื่องจาก เป็นกระบวนการที่สะอาด และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ กระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการทำให้สุกแบบต่อเนื่องที่ใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น โดยทั่วไปอาจใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส และใช้เวลาประมาณ 5-120 วินาทีเท่านั้น ความร้อนที่ให้แก่วัตถุดิบเป็นความร้อนที่ให้โดยตรง โดยการใช้ไอน้ำหรือขดลวดความร้อน และพลังงานทางกล (mechanical energy) ซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในบาร์เรล กระบวนการเอกซ์ทรูชันจึงมีประโยชน์อย่างมากในการทำให้อาหารสุกเพิ่มได้มากขึ้น สามารถแปรรูปอาหารสำเร็จรูป (RTE หรือ Ready-To-Eat) และอาหารสำเร็จรูปชนิดพองตัว (expanded food or puffed food) โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหาร

เมื่อได้รับความร้อน ได้แก่ การเกิดเจลาทิไนเซชันในผลิตภัณฑ์แป้ง (gelatinization) เกิดการเสียสภาพของโปรตีน (denaturation of protein) นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น โดยช่วยทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหารขณะเก็บรักษา (inactivation of raw food enzyme) ทำลายสารพิษในธรรมชาติ เช่น สารยับยั้งการดูดซึมกรดอะมิโนทริปซินในถั่วเหลือง (trypsin inhibitor) และทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้ด้วย (Harper, 1981; Kadan & Pepperman, 2002)

ชนิดของขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (จุฬาลักษณ์ จารุนุช, 2546)

ปัจจุบันนี้กระบวนการผลิตอาหารขบเคี้ยวได้พัฒนาขึ้นโดยมีการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบต่าง ๆ มาใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยว ทำให้รูปแบบและเนื้อสัมผัส รสชาติของอาหารขบเคี้ยวนั้นแตกต่าง กันออกไปหลายรูปแบบ อาหารขบเคี้ยวแบ่งออกตามลำดับก่อนหลังของการผลิตออกจำหน่ายเป็น 3 ชนิด หรือ 3 รุ่น ดังนี้

1. อาหารขบเคี้ยวรุ่นแรก (first generation snacks) โดยทั่วไปหากกล่าวถึงชนิดหรือประเภทของขนมขบเคี้ยว ตามยุคสมัยเป็นที่ทราบกันดีว่าขนมขบเคี้ยวรุ่นแรก (first generation) หมายถึง ขนมขบเคี้ยวที่ต้องการกระบวนการผลิตน้อยที่สุดในการแปรรูปวัตถุดิบให้เป็นอาหารที่รับประทานได้ อาหารขบเคี้ยวที่ผลิตและนิยมรับประทานได้แก่ มันฝรั่งทอด (conventional potato chip) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) ถั่ว (roasted peanut) และขนมปังกรอบ (crackers)

2. อาหารขบเคี้ยวรุ่นที่สอง (second generation snacks) เป็นขนมขบเคี้ยวที่สุกแล้วพองออกมาทันที (direct expansion snacks) ที่โผล่พ้นหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ อบแห้งแล้วเคลือบกลิ่นรสบรรจุในภาชนะปิดสนิท จำหน่ายให้กับผู้บริโภคได้โดยตรง ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความพอง เนื่องจากแป้งในวัตถุดิบเมื่อผ่านเข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ แล้วได้รับความชื้น ความร้อนและความดันคงที่เหมาะสม จะสุกและหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วถูกอัดผ่านหน้าแปลนที่มีรูเปิดจำกัดและด้วยความดันที่สูงภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เมื่อโผล่พ้นหน้าแปลนความดันจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้ออาหารจะระเหยตัวออกอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองขึ้น

3. อาหารขบเคี้ยวรุ่นที่สาม (third generation snacks) หรือ 3 G snacks อาหารขบเคี้ยวรุ่นที่สามนี้จะเกี่ยวข้องกับการอัดอาหารขบเคี้ยวให้ออกมาเป็นลักษณะ รูปทรงต่าง ๆ ที่มีเนื้อสัมผัส (texture) ที่แตกต่างจากอาหารขบเคี้ยวที่ทำมาจาก collet extruder อาหารขบเคี้ยวประเภทนี้เป็นประเภทที่ไม่ได้สุกพองขยายตัวทันทีที่ออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่เรียกว่า indirect expansion snacks จัดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิด half – finished ที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการต่อ เช่น การทอดในน้ำมันที่ร้อนจัด เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสม ผู้ประกอบการสามารถจำหน่ายได้ ทั้งในรูปแบบของผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมรับประทาน (ready-to-eat-snack) หรือผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถนำไปเตรียมต่อที่บ้าน เพื่อรับประทานใหม่ ๆ ได้ นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังเติบโตในตลาดขนมขบเคี้ยวและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีประโยชน์ในแง่ของการขนส่ง เพราะไม่เปลืองเนื้อที่ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษาได้นานก่อนที่จะนำมาทอดให้พองและบรรจุใหม่อีกครั้ง เพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าหรือผู้บริโภค ในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ต้องประกอบด้วยขั้นตอนของการ cooking กับ forming โดยอุณหภูมิของการ cooking จะอยู่ระหว่าง 80 – 100 องศาเซลเซียส และเมื่อส่วนผสมผ่านช่วง cooking แล้วจะมีการปล่อยอากาศออกบ้าง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพอง จากนั้นจึงเข้าสู่ช่วง forming ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงและเนื้อแน่นขึ้น โดยอุณหภูมิของการ forming นี้อาจใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อีกเครื่อง หรือเครื่องเดียวกัน แต่อยู่ในช่วงปลาย โดยมีลักษณะโครงสร้างของสกรูที่ไม่ทำให้เกิดอัตราแรงเฉือน หรืออุณหภูมิสูง

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (อภิญญา เจริญกุล, 2541)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน แบ่งตามปริมาณที่ใช้ในการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ

1) ส่วนประกอบหลัก (major ingredient หรือ structure forming materials)

การผลิตขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน จัดอยู่ในประเภทที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก โดยวัตถุดิบที่นิยมใช้มักเป็นพวก degermed cereal grits มากกว่าการใช้แป้งสตาร์ช เนื่องจากยังมี โปรตีน ไขมันและเส้นใยอยู่ในส่วนผสมของวัตถุดิบ วัตถุดิบหลักที่นำมาผลิตแป้งเพื่อใช้ผลิตขนมขบเคี้ยวมักมาจากพืชหัว (เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง) และธัญพืช

(เช่น ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวโอ๊ต)

2) ส่วนประกอบรอง (minor ingredient)

เป็นส่วนที่ใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย เป็นพวกโปรตีน ไขมัน และอื่น ๆ ส่วนประกอบรองที่เติมลงไปนั้น ไม่ได่เป็นโครงสร้างหลักของผลิตภัณฑ์ แต่มีหน้าที่อื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์ เช่น เพื่อควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อช่วยให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสตามต้องการ เพื่อช่วยเพิ่มสีและกลิ่นรส หรือเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

วัตถุดิบหลักที่ใช้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวแบบพองกรอบนั้น คือ แป้ง และยังมีการใช้วัตถุดิบอื่น ๆ เช่น เนยขาว น้ำมัน เกลือ และอิมัลซิไฟเออร์ ร่วมกับวัตถุดิบหลักเพื่อช่วยลดอาการติดฟัน (stickiness) และควบคุมการพองของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีโพรงอากาศ และสม่ำเสมอ (จุฬาลักษณ์ จารุนุช, 2546) ในงานวิจัยนี้สนใจใช้ แป้งข้าว มาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง เนื่องจากข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในประเทศและเป็นวัตถุดิบที่ปราศจากกลูเตน (gluten free) อีกทั้งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาทำเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ข้าวมีการพองตัวได้ดี และกลิ่นรสอ่อน ทำให้สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด และ สามารถเลือกเติมสีและกลิ่นรสได้ตามต้องการ ซึ่งแป้งข้าวที่มีวางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดนั้นเป็น แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว โดยแป้งข้าวต้องเป็นผลละเอียด ไม่จับตัวเป็นก้อน มีสีขาว ไม่มีกลิ่นอับ มีความชื้นไม่เกิดร้อยละ 13.0 มีปริมาณอะมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 15.0 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งในส่วนของแป้งข้าวเหนียวนั้น จะมีมาตรฐานคล้ายคลึงกับแป้งข้าวเจ้า ยกเว้น ต้องมีปริมาณอะไมโลสไม่เกินร้อยละ 9.0 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งคุณสมบัติของแป้งข้าวที่นิยมตรวจสอบได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า สตาร์ช อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การวัดอุณหภูมิการเกิเจลาทิไนเซชัน การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป และจุติญาณี จิตรสุวรรณ (2554) รายงานว่าแป้งข้าวเจ้ามีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 12.35 โปรตีน ร้อยละ 6.96 เถ้า ร้อยละ 0.27 ไขมัน ร้อยละ 0.32 ใยอาหาร ร้อยละ 0.92 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ79.45 และปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 16.96 ซึ่งจะให้คุณค่าทางโภชนาการในด้านพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่า มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ข้าวในกระบวนการเอกซ์ทรูชันมากมาย กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ รุจิรารัตน์ โดยคาดี และ สุวลี จันทร์ชะลอ

(2556) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดอบพองจากแป้งข้าวผสมแป้งเมล็ดขนุนโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งเมลด์ขนุนที่เหมาะสม โดยแปรอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งเมลด์ขนุน (100:7 70:30 50:50 30:70 และ 0:100) พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งเมล็ดขนุน 30:70 มีอัตราการพองตัวสูง (3.55) มีความหนาแน่นต่ำ (0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด ต่อมา Jongsutjarittam and Charoenrein (2014) ได้ศึกษาผลของปริมาณอัตราการเติมน้ำในส่วนผสมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวข้าวเหนียว (waxy rice flour) และแป้งข้าวเจ้า (non-waxy rice flour) ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ (Twin-screw extruder) อัตราการป้อน 5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วรอบ 350 รอบต่อนาที โดยปริมาณอัตราการเติมน้ำในส่วนผสมเป็น 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่ากระบวนการเอกซ์ทรูชันทำให้ในส่วนของค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลาย (WSI) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวทั้ง 2 ชนิด และเมื่อปริมาณอัตราการเติมน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการละลายและค่าดัชนีการดูดซับน้ำลดลง และจากผลการวิจัย พบว่า ค่า WSI ของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านกระบวนเอกซ์ทรูชันมีค่ามากกว่าแป้งที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน และจะมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมต่ำที่สุด

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยว (อภิญญา เจริญกุล, 2541)

ขั้นตอนการทำงานในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ซึ่งสามารถแบ่งตามความสัมพันธ์กับหน้าที่ของ สกรูได้เป็น 3 ส่วนคือ

1) สกรูป้อน (feed section)

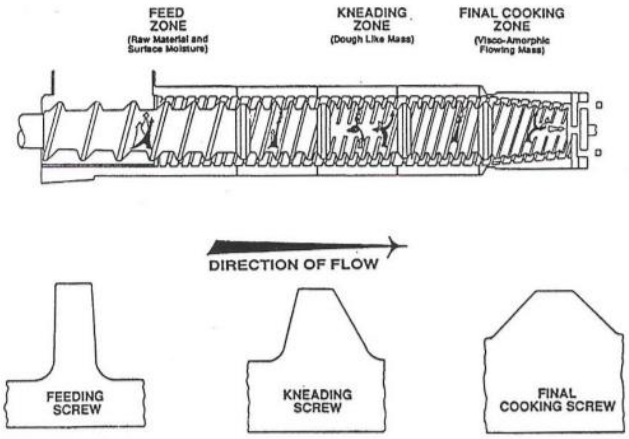
เป็นสกรูส่วนที่คอยรับเอาวัตถุดิบมาจาก feed part ช่วยลำเลียงเอาวัตถุดิบไปข้างหน้าอย่างสม่ำเสมอและในปริมาณเพียงพอ ทำหน้าที่อัดวัตถุดิบให้รวมตัวกัน จนเกือบเป็นเนื้อเดียวกัน แรงเสียดทานต่ำ ยังไม่มีความร้อนเกิดขึ้น สกรูนั้นต้องมีวัตถุอาหารอยู่เต็มสกรู แต่ถ้าในร่องสกรูมีวัตถุอาหารบรรจุอยู่ไม่เต็ม การป้อนไม่สม่ำเสมอ จะส่งผลกระทบต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ออกมา สกรูป้อนนี้ควรมีความยาวประมาณร้อยละ 10-25 ของความยาวทั้งหมดของสกรู

2) ส่วนอัด (compression section)

เป็นสกรูส่วนที่อยู่ระหว่างสกรูป้อน (feed section) กับสกรูส่วนที่ทำให้สุก (metering section หรือcooking section) แรงอัดจะเกิดจากการที่ความลึกของร่องเกลียวค่อย ๆ ตื้นขึ้นทีละน้อย ๆ วัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปจะได้รับความร้อนและจะถูก บด ผสม นวด และอัด จนเกิดความร้อนจากการเสียดสี และอาจมีการพ่นไอน้ำ (steam) ลงในวัตถุดิบ เพื่อเพิ่มความร้อนและยังเพิ่มความชื้นให้วัตถุดิบด้วย ในที่สุดส่วนผสมก็จะเริ่มเปลี่ยนสภาพจากผงแป้งกลายเป็นแป้งโด (dough) ที่มีลักษณะข้นหนืด ขณะที่ผ่านช่วงสกรูที่เป็น compression section ลักษณะของวัตถุอาหารที่ผ่านเข้าไปในกระบวนการนี้จะเปลี่ยนจากลักษณะที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ หรือผงแป้ง ไปเป็นสสารที่ไม่มีรูปร่างหรืออสัณฐาน (amorphous) หรือเป็น dough ที่เหนียวคล้ายพลาสติก ด้วยเหตุนี้สกรูของช่วงนี้ต้องยาวและส่วนมากแล้วจะมีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวสกรูทั้งหมด

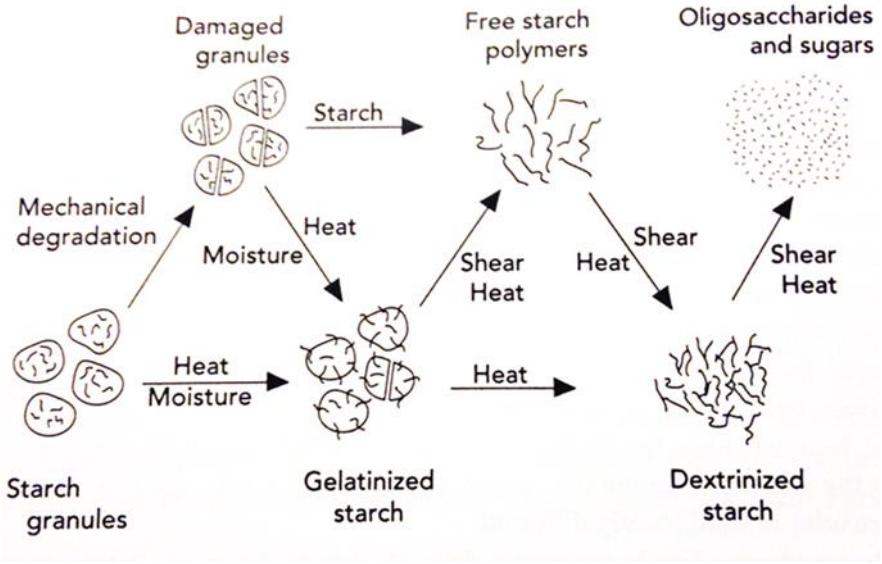
3) สกรูส่วนที่ทำให้สุก (metering section)

เป็นสกรูส่วนที่ติดกับทางออก หรือ หน้าแปลน (die) ลักษณะทั่วไปจะเป็น สกรูที่มีร่องตื้นที่สุด ร่องตื้นแต่ละเกลียวสกรูนี้จะเพิ่มแรงเฉือนให้สูงสุดภายในสกรู ลักษณะของบาร์เรลและสกรูมักเป็นรูปกรวย (cone) เพื่อบีบให้ช่องทางออกเล็กลง อัตราเฉือนเพิ่มขึ้นสูงสุด พลังงานกลที่เกิดจากการเสียดทานนั้นจะเปลี่ยนเป็นความร้อนและทำให้ความข้นหนืดของแป้งโด (dough) นั้นหมดไป กลายเป็นส่วนผสมที่เหลว ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดในส่วน ที่เรียกว่า metering section และอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วที่ส่วนนี้ อัตราแรงเฉือนที่เพิ่มสูงขึ้นในส่วนนี้จะช่วย ให้การผสมกันภายในดียิ่งขึ้นและยังช่วยให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์คงที่สม่ำเสมอ ต่อจากนั้นเมื่อส่วนผสมที่เหลวนี้ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ออกมาทางหน้าแปลน (die) จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวได้ เนื่องจากความดันลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำระเหยและดันโครงสร้าง ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวขึ้น



ภาพที่ 2-8 การออกแบบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (อภิญญา เจริญกุล, 2541)

ในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้น วัตถุดิบที่ถูกป้อนและเคลื่อนตัวผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะได้รับความร้อน แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่นิยมใช้ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันคือแป้ง ซึ่งในแป้งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นสตาร์ชเกือบทั้งหมด โดยจะพบว่าถ้าสตาร์ชอยู่ในสภาวะที่มีการให้ความร้อน และมีความชื้นสูง เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว สามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้ และเกิดการเจลาติไนซ์ของสตาร์ช (gelatinization) โดยอะไมโลสจะกระจายตัวออกมาอยู่บริเวณด้านนอกของเม็ดสตาร์ช ส่วนอะไมโลเพคตินนั้นยังคงอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งถ้าสตาร์ชผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เม็ดสตาร์ชจะได้รับแรงเฉือนขณะเคลื่อนผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้เกิดเป็นเม็ดสตาร์ชที่เสียหาย (damaged starch granules) ร่วมกับการได้รับความร้อน จะทำให้สตาร์ชเกิดการเดกซ์ทริไนเซชั่น (dextrinization) ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชเล็กลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันแสดงดังภาพที่ 2-9 การศึกษาเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชเมื่อใช้สภาวะในกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่แตกต่างกันนั้น จะสามารถทำได้โดยการวัดค่าดัชนีการดูดน้ำ (WAI) และลักษณะการละลายน้ำ (WSI) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Dennis & Richard, 1997)



ภาพที่ 2-9 การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Dennis & Richard, 1997)

ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

ตัวแปรที่มีความสำคัญที่มีผลต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ประกอบไปด้วยตัวแปรหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ (อภิญญา เจริญกุล, 2541)

1) ส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

รูปแบบของเครื่อง แบบของสกรู และหน้าแปลน รูปแบบของสกรู (screw configuration) โดยเฉพาะกับเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ มีผลต่อการผสมของวัตถุดิบ ระยะเวลาที่อยู่ภายในเครื่อง แรงเฉือน และอุณหภูมิของโดภายในเครื่อง อภิญญา เจริญกุล (2541) กล่าวว่า ลักษณะการออกแบบสกรูและการจัดเรียง เช่น ความลึกของร่องสกรู ระยะห่าง ระหว่างเกลียวสกรู นั้นมีผลต่ออัตราเฉือนและความดันในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน จึงมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์เช่นกัน รวมทั้งหน้าแปลนเป็นส่วนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรูปร่างที่แตกต่างกัน การที่หน้าแปลนมีรูปร่าง ขนาดความกว้างและจำนวนของช่องเปิดของหน้าแปลน (die) ที่แตกต่างกัน จะมีผลต่ออัตราเฉือนและความดันที่เกิดขึ้น

2) กระบวนการผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ได้แก่

- อุณหภูมิของบาร์เรล (barrel temperature)

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้าอุณหภูมิทางออกของเครื่องมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์พองทันทีหลังออกจากเครื่องเนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่พองทันทีหลังออกมาจากเครื่องเกิดเนื่องจากการลดอุณหภูมิช่วงใกล้ทางออกลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการพองตัวของผลิตภัณฑ์ แต่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์พองได้หลังจากการให้ความร้อน เช่น การทอด หรืออบ นอกจากนี้อุณหภูมิของบาร์เรลก็ถือเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยว เนื่องจากอุณหภูมิของบาร์เรลส่งผลต่อความหนืดของส่วนผสม อัตราการไหล แรงเฉือนที่เกิดขึ้น ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้

- ความเร็วรอบของสกรู (screw speed)

ความเร็วรอบของสกรูมีผลต่อการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่อง ระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง (residence time) และแรงเฉือน การเพิ่มแรงเฉือนใกล้ทางออกของเครื่องจะเพิ่มการสูญเสียโครงสร้างของโมเลกุลแป้ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พอง มีลักษณะรูพรุนเล็ก และความทนต่อแรงกดลดลง แต่ในทางอุตสาหกรรมมักใช้ความเร็วคงที่ และความเร็วรอบของสกรูยังมีผลต่อความหนืดของส่วนผสม อัตราการไหล และความดันที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

- อัตราการป้อนวัตถุดิบ (feed rate)

การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องจะมีการเพิ่มความดันที่รูเปิดหน้าแปลน ลดพลังงานกลที่ป้อนเข้า และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลา ที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง

สภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้แก่ อุณหภูมิของบารร์เรล ความเร็วรอบของสกรู และอัตราการป้อนวัตถุดิบ มีผลต่อการคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้ สภาวะที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพและลักษณธของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้ Ding et al. (2005) ทำการศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวพบว่า ส่วนความเร็วรอบของสกรูนั้นไม่มีผลทางสถิติต่อคุณภาพทางกายภาพทาง เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อความเร็วของการป้อนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความพองมากขึ้น ดัชนีการละลายน้ำลดลง และความแข็งมากขึ้น เมื่อวัตถุดิบมี ความชื้นสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่น

สูงขึ้น ความพองลดลง ดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำลดลง มีความแข็งมากขึ้น และความกรอบลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะพองมากขึ้น แต่ความหนาแน่นจะลดลง ดัชนีการละลายน้ำและความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลมีผงทำให้ดัชนีการละลายเพิ่มขึ้นนั้น สอดคล้องกับการรายงานของ Sangnark et al. (2015) ที่ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยใช้ส่วนผสมที่มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 15 อุณหภูมิของบาร์เรล 120-160 องศาเซลซียส และความเร็วรอบของสกรู 150-250 รอบต่อนาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นกัน

Saeleaw, Durrschmid and Schleining (2012) ที่ศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อกลไกการเกิดเสียงและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรย์ที่ใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 12 และ 16 อุณหภูมิของบาร์เรล 150 และ 190 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองพบว่าการเพิ่มความชื้นของส่วนผสมจากร้อยละ 12 -16 ทำให้ทำให้ผนังเซลล์ของฟองอากาศหนา และมีขนาดเล็ก และเมื่ออุณหภูมิของงบาร์เรลเพิ่มขึ้นจะทำให้สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผนังของฟองอากาศที่บาง เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Lee et al. (1999) ที่พบว่าเมื่ออุณภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น (80-90 องศาเซลเซียส) มีผลทำให้สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากสตาร์ชข้าวโพดเพิ่มมากขึ้น

อาภัสรา แสงนาค และคณะ (2555) ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันจากข้าวหอมนิล โดยแปรปริมาณความชื้นขอส่วนผสมเป็นร้อยละ 13, 15 และ 17 และควบคุมอุณหภูมิของบาร์เรลเป็น 80 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มความชื้นมีผลทำให้สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ และความแข็งลดลง ความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น และต่อมาทำการศึกษาอุณหภูมิของบาร์เรลส่วนทางออกที่ 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส และความเร็วรอของสกรูที่ 150, 200 และ 250 รอบต่อนาที พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองมีผลต่อค่าคุณภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ให้สูงขึ้นทำให้สัดส่วนการพองตัวเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง และมีแนวโน้มให้ค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

3) วัตถุดิบ (feed ingredients)

วัตถุที่นำมาใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน นั้นมีผลต่อคุณลักษณะสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ เช่น ความชื้น โปรตีน แป้ง ไขมัน เส้นใย เป็นต้น วัตถุดิบแต่ละชนิดย่อมมีองค์ประกอบ โครงสร้างที่แตกต่างกันไป เช่น ปริมาณความชื้น ขนาดของอนุภาค (particle size) องค์ประกอบ คุณลักษณะอื่น ๆ เช่น การละลาย ความหนืด ความบริสุทธิ์ สี และกลิ่น โดยขนาดของอนุภาคของส่วนประกอบต่าง ๆ ในวัตถุดิบนั้นควรมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ถ้าขนาดไม่เท่ากันอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาไม่ดี หรืออาจส่งผลให้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ทำงานติดขัด อย่างไรก็ตามขนาดอนุภาคไม่จำเป็นต้องผงละเอียดเสมอไป นอกจากนี้ความชื้นของวัตถุดิบก็มีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตามมาในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เช่น อัตราการไหล แรงเฉือน ความหนืดที่เกิดขึ้น ระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายในเครื่อง ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้

ความชื้นของส่วนผสม ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้ จากงานวิจัยของ Chiang and Johnson (1977) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิในการผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่าการใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างสูง (ร้อยละ 18-22) ที่อุณหภูมิในการผลิตปานกลาง (88-104 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะค่อนข้างแข็ง โครงสร้างเซลล์เล็กและมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว แต่เมื่อวัตถุดิบมีความชื้นต่ำ (ร้อยละ 10-14) ที่อุณหภูมิในการผลิตสูง (93-121 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พอง น้ำหนักเบาและมีโครงสร้างเซลล์เปิดกว้างเมื่อนำไปอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบนุ่ม แต่ถ้าอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันค่อนข้างต่ำ (65-80 องศาเซลเซียส) ปริมาณความชื้นจะไม่มีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันมากนัก แต่จะมีผลเมื่ออุณหภูมิเอกซ์ทรูชันสูง (95-110 องศาเซลเซียส) ความชื้นที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสมจะทำให้เกิดความดันไอขึ้นในเนื้ออาหาร เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดการพองตัว มีลักษณะเป็นรูพรุน โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์คือ ร้อยละ 13 ดังนั้นถ้ามีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้อัตราส่วนการพองตัวลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วที่ ทำให้มีน้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์จึงไม่สามารถพองตัวได้ แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรอยร้าวที่ผิว

นอกจากนี้การเติมวัตถุดิบอื่นเพิ่มลงไปในส่วนผสมของขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้น ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้ เนื่องจากวัตถุดิบอื่นที่เติมเพิ่มลงไปนั้น ย่อทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบเปลี่ยนแปลงไป จากงานวิจัยของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, รุจิรารัตน์ โดยคำดี และสุวลี จันทร์ชะลอ (2556) ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเมล็ดขนุนโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสม โดยแปรอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งเมล็ดขนุน (100:7 70:30 50:50 30:70 และ 0:100) และศึกษาปัจจัยในการผลิตโดยเอกซ์ทรูชัน ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรู (160 และ 200 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิของบาร์เรล (105, 120 และ 135 องศาเซลเซียส) พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งเมล็ดขนุน 30:70 มีอัตราการพองตัวสูง (3.55) มีความหนาแน่นต่ำ (0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงที่สุดและมีความหนาแน่นต่ำ ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงจากหมึกทะเลที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยทำการศึกษาปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 โดยน้ำหนักแป้ง) ที่ใช้เติมลงในขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้า เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้านสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากน้ำหมึกผง พบว่าขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และพบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้สัดส่วนการพองตัวขอขนมขบเคี้ยวลดลง เช่นเดียวกับ Charunuch, Tangkanakul, Rungchang, and Sonted (2008) ที่ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันจากข้าวเจ้าเสริมใบหม่อน โดยเติมใบหม่อนผง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5.0, 7.5 และ 10.0 ซึ่งพบว่าปริมาณใบหม่อนผงมีผลต่อสัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยวที่ได้ โดยเมื่อปริมาณใบหม่อนผงที่เติมเพิ่มมากขึ้น มีผลให้สัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยวที่ได้ลดลง

ตัวแปรทั้งสาม คือ ส่วนประกอบของเครื่อง สภาวะกระบวนการผลิต วัตถุดิบ และความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละตัวแปร มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เช่น ความร้อน ความดัน และแรงเฉือน ที่เกิดจากตัวแปรต่าง ๆ มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลในอาหาร (แป้ง โปรตีน ไขมัน) ซึ่งมีผล

ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางโภชนาการของอาหาร ดังนั้นการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันจึงจำเป็นต้องหาสภาวะของตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีคุณภาพและคุณลักษณะดีที่สุด

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารขนมขบเคี้ยว (ณัฐดนัย หาญการสุจริต, 2559)

ขนมขบเคี้ยว (snack) เป็นอาหารที่มีความหลากหลาย ทั้งด้านวัตถุดิบและกระบวนการแปรรูป มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต การคิดค้นส่วนผสม (ingredient) ใหม่ ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพ เช่น สี กลนิ่รส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคและแนวโน้มของตลาด โดยเลือกขนมขบเคี้ยวมักผลิตในปริมาณมาก จึงต้องการความรวดเร็วในกระบวนการแปรรูป นิยมบรรจุและปิดผนึกภายหลังผ่านการแปรรูปแล้ว แต่วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคล้ายกัน คือประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล น้ำมัน ผงชูรส และเกลือ ทำให้มีคุณค่าทางอาหารน้อย นอกจากนี้ขนมขบเคี้ยวมักเป็นอาหารประเภทที่มีอายุการเก็บรักษายาวนาน การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรักษาคุณภาพของอาหารในระหว่างการเก็บรักษาจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งคุณลักษณะของขนมขบเคี้ยวที่เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค คือ มีค่า a_w มีความกรอบ ไวต่อการเปลี่ยนแปลงจากความชื้น และต้องมีอายุการเก็บรักษายาวนาน เนื่องจากค่า a_w ต่ำ จึงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

การเสื่อมเสียของขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวมักมีต่ำ a_w ประมาณ 0.3-0.4 จึงยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลนิทรีย์ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ คุณลักษณะของ ผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับรูปแบบการผลิตและองค์ประกอบ เช่น แป้ง น้ำตาล น้ำมัน และโครงสร้าง การเสื่อมเสียของขนมขบ เคี้ยวในบรรจุภัณฑ์ ที่ยังไม่ผ่านการเปิดจึงมักพบมีสาเหตุทางกายภาพและเคมีมากกว่าจุลินทรีย์ คือ การดูดซับความชื้น (moisture gain) ทำให้เกิดการสูญเสียความกรอบหรือการเกาะตัวกันของอาหารผง เช่น นมผง เครื่องดื่มผงสำหรับชงน้ำพร้อมดื่ม และซุปผง เป็นต้น ทั้งนี้ความกรอบและนิ่มของผลิตภัณฑ์อาหารมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิกลาสทาซิชัน (glass transition, Tg) ของอาหาร

ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษากับ Tg จึงเป็นดัชนีบ่งชี้ความกรอบของอาหาร ทั้งนี้ ความชื้นในบรรยากาศทำหน้าที่เป็นสารพลาสติไซเซอร์ในอาหารที่

องค์ประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ทำให้ค่า Tg ของอาหาร ลดลง ดังนั้น ที่สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิคงที่ หากอาหารดูดความชื้นจากบรรยากาศ จะทำให้ค่า Tg ของอาหารลดลง จนเมื่อต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง จะทำให้คุณลักษณะอาหารเปลี่ยนจากกรอบเปราะเป็นนิ่มเหนียว

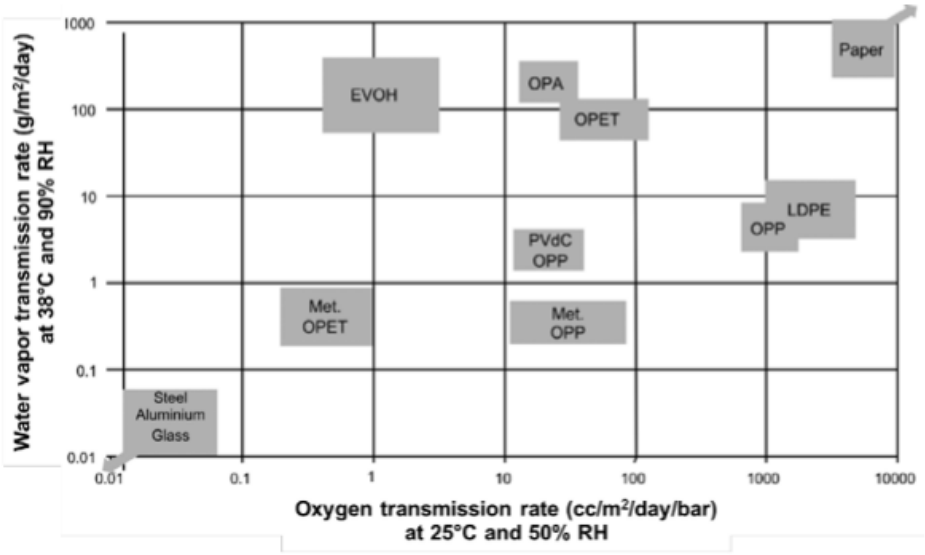
บรรจุภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวมักมีความชื้นและค่า a_w ต่ำ จึงไม่พบการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ จึงเป็นอาหารที่มีอายุการเก็บรักษายาวนาน การเสื่อมเสียมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ดังที่กล่าวข้างต้น บรรจุภัณฑ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ที่เร่งให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร นอกจากนี้การออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากขนมขบเคี้ยวมักมีการใช้รูปแบบ สีสันหรือรูปทรงที่ดึงดูดผู้บริโภคนอกจากหน้าที่ในการปกป้องอาหาร ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและลักษณะ เฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสำหรับอาหารประเภททอดหรือ อบกรอบนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต้องมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เพื่อป้องกันความชื้นซึ่งทำให้สินค้าไม่กรอบ และเลือกใช้ฟิล์มที่มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาในอาหารซึ่งจะทำาให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่าน ได้ดีจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร

ฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ประเภทถุงหรือซองสำาหรับอาหารหรือขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่ จะผลิตจากฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ประกบกันหลายชั้น อาจมีวัสดุอื่น เช่น กระดาษหรืออลูมิเนียมฟอล์ยมาประกบด้วยเพื่อเพิ่มหรือทำาให้สมบัติต่าง ๆ ดีขึ้นทั้งในด้านความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำ ความแข็งแรง และความสามารถในการปิดผนึก โดยฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิดที่นำมาประกบกันนี้มีสมบัติและหน้าที่ที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาและเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดอาหารที่ผลิต เผื่อแป็นการช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์ได้ ลักษณะของบรรจุภัณฑ์สำหรับขนมขบเคี้ยว ที่เป็นที่ต้องการคือ ต้องสามารถป้องกันแสงได้ (light barrier) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การใช้ฟิล์มฉาบโลหะ (metallized film) ซึ่งโดยทั่วไปช่วยป้องกันแสงส่องผ่านได้มากกว่าร้อยละ 99 มีความทนทานต่อไขมันและป้องกันการซึมผ่านของไขมันและน้ำมัน (grease proofness) สามารถป้องกันการผ่านเข้า-ออกของสารให้กลิ่นรสและสารระเหยต่าง ๆ เพื่อป้องกันกันปนเปื้อนจากภายนอกและการ สูญเสียกลิ่นรส

ของอาหาร ต้านทานความชื้นและแก๊สได้ดี และทนทานต่อแรงเจาะทะลุ (puncture resistance) เนื่องจากขนมขบเคี้ยวมีความกรอบแข็ง อาจทิ่มทะลุบรรจุภัณฑ์และทำให้เกิดการรั่วได้ ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้สำหรับขนมขบเคี้ยว เช่น ฟิล์มพลาสติก oriented polypropylene (OPP)/cast polypropylene (CPP) ฟิล์มเคลือบโลหะ เช่น metallize cast polypropylene (metCPP)/ oriented polypropylene (OPP), metallize polyethylene terephalate (metPET)/ polyethylene (PE) วัสดุจากเซลลูโลส เช่น เซลโลเฟน (cellophane) และกระดาษกราซีน (glassinepaper) วัสดุอะลูมีเนียมลามิเนต สำหรับสินค้าราคาสูง เป็นต้น

วัสดุที่นำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำแตกต่างกัน กระดาษซึ่งมีรูพรุนสูงจะมีสภาพการซึมผ่าน สูงมาก ในขณะที่แก้วและโลหะจะมีสภาพการซึมผ่านต่าง ๆ วัสดุพลาสติกมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ความเป็นผลึกและความหนา การปรับปรุงวัสดุด้วยการเคลือบ โลหะ หรือเคลือบ PVdC จะช่วยปรับปรุงความสามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำให้สูงขึ้น ชั้นต้านทาน (barrier) ของ EVOH และ PVdC จะช่วยเพิ่มความต้านทานแก๊สออกซิเจนให้แก่บรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ดี EVOH มีความไวต่อความชื้นมาก ซึ่งจะทำให้ความต้านทานแก๊สต่ำลงและไม่ช่วยป้องกันความชื้น ในขณะที่ PVdC จะช่วยลด อัตราการซึมผ่านของไอน้ำได้ และไม่ไวต่อความชื้น นอกจากนี้ การป้องกันแก๊สของ PVdC จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง กล่าวคือ การเก็บรักษาสินค้าแช่เย็นจะทำให้คุณสมบัติความต้านทานของ PVdC สูงขึ้น นอกจากนี้ ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature, Tg) ของ EVOH จะสูงกว่าอุณหภูมิห้อง (Tg ประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส) ทำให้มีความเสี่ยงต่อการแตกหักจากรอยพับ (flex cracking) ทั้งนี้ ในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวมีการใช้งานวัสดทุ้งสองชนิด ภาพที่ 2-11 แสดงการใช้ งาน EVOH ในบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ



ภาพที่ 2-11 อัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำของวัสดุบรรจุประเภทต่าง ๆ (Kuhr, 2001)

นอกจากนี้ปัจจุบันได้มีการนำวิทยาการเกี่ยวกับการนำก๊าซชนิดต่าง ๆ มาใช้สำหรับกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น เพื่อช่วยรักษาคุณภาพ และคุณค่า ทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ๆ ไว้ให้นานที่สุด ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาอาหารนั่นเอง กระบวนการบรรจุแบบ gas-flushing เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน โดยการพ่นก๊าซชนิดที่ต้องการเข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้สำหรับ ไล่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เช่น อาหารที่มีไขมันมาก น้ำผลไม้ เป็นต้น ก๊าซที่ใช้สำหรับพ่นเข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นต้น แต่ก๊าซที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบ gas flushing ในอุตสาหกรรมอาหาร คือ ก๊าซไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติ คือ เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นพิษ จึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. แป้งข้าวเจ้าตราหมีคู่ดาว ผลิตโดยบริษัท บูรพา พรอสเพอร์ จำกัด จังหวัดชลบุรี
2. น้ำหมึกจากหมึกกล้วย (*Loligo* spp.) จากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี

วัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์เตรียมน้ำหมึกผง

1. ตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) บริษัท อีเคฟู้ดเทค ประเทศไทย
2. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) รุ่น Lyolab 3000 บริษัท ไซแอนติฟิคโปรโมชั่น จำกัด ประเทศเดนมาร์ก
3. ตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ (vacuum dryer) Binder รุ่น WTB ประเทศเยอรมนี
4. ตู้แช่แข็ง (freezer) บริษัท Sanyo commercial solution จำกัด ประเทศไทย
5. เครื่องบดของแห้ง (laboratory blender) รุ่น HGBTWT บริษัท Waring Commercial ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช

อุปกรณ์เตรียมขนมขบเคี้ยว

1. เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ชนิดสกรูเดี่ยวสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. เครื่องผสม (mixer) Thai mixer รุ่น KV-05 ประเทศไทย

อุปกรณ์วิเคราะห์

1. เครื่องวัดสี (colorimeter) Hunter Lab รุ่น Miniscan XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA.XT*plus* ประเทศอังกฤษ
3. เครื่องสกัดไขมัน (soxhtherm) Gerhadt รุ่น S 306 Sk ประเทศนอร์เวย์
4. เครื่องวิเคราะห์โปรตีนรุ่น Buchi 323 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) Memert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
6. เตาเผา Ney รุ่น 6-160A ประเทศอังกฤษ
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) Sartorius รุ่น TE 3102S ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) Sartorius รุ่น BSA ประเทศเยอรมนี

9. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge efrigerated) HERMLE รุ่น Z323K ประเทศเยอรมนี

10. โถดูดความชื้น (desiccator)

11. เครื่องผสมสาร (vortex mixer) รุ่น REAX2000 ประเทศเยอรมนี

12. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) Spectronic รุ่น Genesys 20 ประเทศสหรัฐอเมริกา

13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) LEO รุ่น 1450 VP ประเทศอังกฤษ

14. ตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช

15. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (compact dry TC) Nissui Pharmaceutical ประเทศญี่ปุ่น

16. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อยีสต์และรา (compact dry YM) Nissui Pharmaceutical ประเทศญี่ปุ่น

17. อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่น แก้วน้ำ ถ้วยชิม เป็นต้น

อุปกรณ์อื่น ๆ

1. เครื่องแก้วและเครื่องตวงวัดต่างๆ เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ แท่งแก้ว เป็นต้น

2. อุปกรณ์งานครัว เช่น ถาด มีด อ่างสแตนเลส เป็นต้น

3. วัสดุอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียมฟอยด์ ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ถุงพลาสติกโพลีเอทีลีน เป็นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

การเตรียมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

นำถุงน้ำหมึกของหมึกกล้วย ที่ได้จากการรวบรวมจากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี มารีดเอาน้ำหมึกออก จากนั้นใส่ในถุงพลาสติกโพลีเอทีลีน ปิดปากถุงให้สนิท นำไปเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เพื่อรวบรวมให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ และนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ตามข้อ 1.1

ภาพที่ 3-1 ถุงน้ำหมึกของหมึกกล้วย

นำน้ำหมึกที่เตรียมได้มาทำแห้ง โดยนำน้ำหมึกที่ผ่านการแช่แข็งมา 500 กรัม มาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำแห้ง 3 วิธี ได้แก่ ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง ทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่ดัดแปลงจากการผลิตเลือดปลาทูน่าผงของ สุธีรา มีภักดี และเพชรดา รัตนสุวรรณ์ (2555) รวมทั้งจากการศึกษาเบื้องต้น โดยนำน้ำหมึกมาเกลี่ยลงบนถาดสแตนเลสขนาดกว้าง 34 เซนติเมตร ยาว 39.5 เซนติเมตร ให้มีความสูงประมาณ 3-5 มิลลิเมตร สำหรับการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาดและทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ สำหรับการ

ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) จะบรรจุน้ำหมึกในกล่องพลาสติกขนาดกว้าง 11 เซนติเมตร ยาว 16.5 เซนติเมตร ความหนาของน้ำหมึก 1 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่แข็งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยให้น้ำหมึกหลังการทำแห้งทั้งสามวิธีมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 9±2 แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดของแห้งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช จากนั้นเก็บน้ำหมึกผงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่ปิดสนิท แล้วนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะในด้านต่าง ๆ

1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำน้ำหมึกและน้ำหมึกผงที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1.1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC, (2000) (ภาคผนวก ก-1)

1.1.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC, (2000) (ภาคผนวก ก-2)

1.1.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC, (2000) (ภาคผนวก ก-3)

1.1.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2000) (ภาคผนวก ก-4)

1.1.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (2000) (ภาคผนวก ก-5)

1.1.6 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity (ภาคผนวก ก-6) และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ตามวิธีของ Vate and Benjakul (2013) (ภาคผนวก ก-7)

1.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

นำน้ำหมึกผงที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ดังนี้

1.2.1 ค่าสี นำน้ำหมึกผงไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี hunter lab รายงานค่าเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) (ภาคผนวก ข-1)

1.2.2 ความหนาแน่น (bulk density) (ภาคผนวก ข-2)

1.2.3 ความสามารถในการละลายน้ำ (water solubility) (ภาคผนวก ข-3)

1.3 การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์

นำน้ำหมึกผงที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธี BAM (2003) (ภาคผนวก ค-1) และปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด ตามวิธี BAM (2001) (ภาคผนวก ค-2)

1.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, Completed Randomize Dezign) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's Multiple Comparison test ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบ

คุณลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากกระบวนทำแห้งน้ำหมึกผงด้วยวิธีการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด ตู้อบแบบสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab for Windows Version 17.0

1.6 การพิจารณาเลือกกระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสม

พิจารณาเลือกน้ำหมึกผงจากกระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมที่สุดที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสุดที่สุด ร่วมกับที่มีสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย ที่เหมาะสม และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และมีปริมาณโคลิฟอร์มโดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (ตามมาตรฐาน มผช. 494/2557 ผงปรุงรสอาหาร) เพื่อทำการทดลองในตอนที่ 2

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า

เตรียมขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าโดย แปรปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง โดยเตรียมส่วนผสมตามวิธีของ ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) โดยนำน้ำหมึกผงที่ได้จากตอนที่ 1 มาผสมลงในแป้งข้าวเจ้า 300 กรัม แล้วร่อนให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำให้ส่วนผสมมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 15 ทำการผสมด้วยเครื่องผสม ใช้หัวใบไม้ โดยผสมด้วยความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 3 นาที (วิธีคำนวณความชื้นสุดท้ายแสดงดังภาคผนวก ง) จากนั้นใส่ส่วนผสมลงในถุงซิปลอค ถุงละ 500 กรัม แล้วนำไปใส่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้นาน 12 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลความชื้นของส่วนผสม จากนั้นนำส่วนผสมมาผลิตขนมขบเคี้ยวตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sangnark et al. (2015) โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการแบบสกรูเดี่ยว แสดงดังภาพที่ 3-2 ปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) เป็น 100 องศาเซลเซียส และบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) เป็น 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบของสกรู 140 รอบต่อนาที เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีช่องทางออก (die) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เมื่อได้ขนมขบเคี้ยว ตัดให้มีความยาว 4 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และนำขนมขบเคี้ยวที่ได้บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่ปิดสนิท เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระต่อไป

2.1 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยว

นำขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกที่เตรียมได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยว ดังนี้

2.1.1 ค่าสี (L* a* และ b*) (ภาคผนวก ข-4)

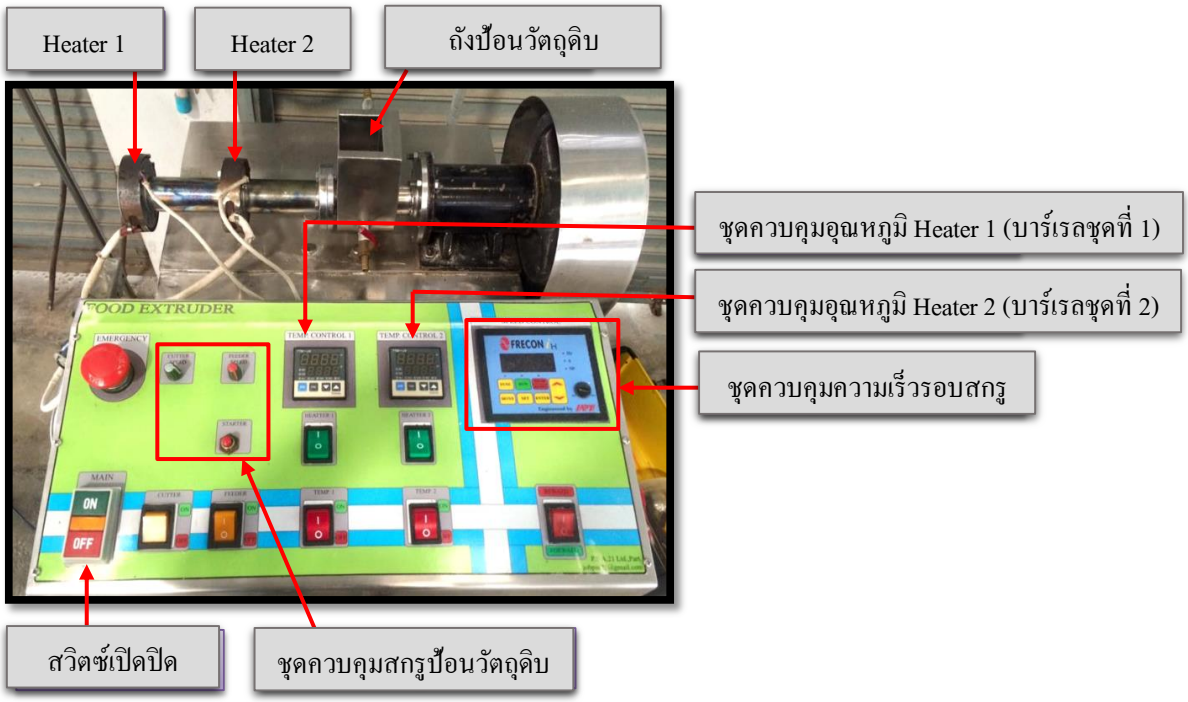
2.1.2 ดัชนีการละลาย (Water solubility index, WSI) และการดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยว (Water absorption index, WAI) ดัดแปลงจากวิธี Anderson et al. (1969) (ภาคผนวก ข-6)

2.1.3 สัดส่วนการพองตัว ตามวิธีของ Sangnark et al. (2015) (ภาคผนวก ข-7)

2.1.4 ความหนาแน่น ตามวิธีของ Alvarez-Martinez et al. (1988) (ภาคผนวก ข-8)

2.1.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว (ภาคผนวก ข-10)

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) วัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fractulability) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sangnark et al. (2015)



ภาพที่ 3-2 ส่วนประกอบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder)

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง ตามวิธี (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ก-2)

2.3 การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) เตรียมตัวอย่างขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง โดยทำการสกัดตัวอย่างปริมาณ 5 กรัม ด้วยสารละลายเมทานอล 80 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรอง และปรับปริมาตรสารละลายที่สกัดให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายเมทานอล ตามวิธีของ ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) และทำการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระตามวิธีของ Vate and Benjakul (2013) (ภาคผนวก ก-8)

2.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำขนมขบเคี้ยวที่เตรียมได้มาทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบความเข้มของผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ สีดำ กลิ่นคาว กลิ่นรสหมึก ความกรอบ และความแข็ง ด้วยวิธี scoring โดยใช้แบบประเมิน ภาคผนวกที่ จ-1 และทดสอบความชอบของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้แบบประเมิน ภาคผนวกที่ จ-2 ใช้ผู้ทดสอบนิสิตภาควิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทายาลัยบูรพา จำนวน 30 คน (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2550)

2.5 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมบัติทางกายภาพ ปริมาณโปรตีน สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี Tukey’s multiple comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (randomized complete block design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Tukey’s multiple comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab for windows version 17.0

2.6 การพิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

พิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสม จากปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำให้ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยมีคะแนนความชอบโดยรวมตั้งแต่ 6 คะแนนขึ้นไป และมีสมบัติในการสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ และเนื้อสัมผัสไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

ศึกษาความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันเพื่อผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการแบบสกรูเดี่ยว ใช้ปริมาณน้ำหมึกที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 2 ทำการศึกษาปัจจัยในการผลิต 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) โดยแปรความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15 20 และ 25 และแปรอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 เป็น 3 ระดับ คือ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส ทำการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (3x3) (แสดงดังตารางที่ 3-1) ผลิตขนมขบเคี้ยว โดยใช้ความเร็วรอบของสกรูคงที่ 140 รอบต่อนาที และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส นำขนมขบเคี้ยวที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกให้สนิทเพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพ ดังต่อไปนี้

3.1 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกทะเลที่ผลิตที่ความชื้นส่วนสมและอุณหภูมิของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่แตกต่ากันที่ได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ดังนี้

3.1.1 เส้นผ่าศูนย์กลาง

วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์โดยใช้ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (vernier calipers) รายงานในหน่วย มิลลิเมตร

3.1.2 สัดส่วนการพองตัว ตามวิธีของ Sangnark et al. (2015) (ภาคผนวก ข-7)

3.1.3 ความหนาแน่น (density) ตามวิธีของ Alvarez-Martinez et al. (1988) (ภาคผนวก ข-8)

3.1.4 ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำ (water solubility index, WSI) ตามวิธีที่ดัดแปลงจากของ Anderson et al. (1969) (ภาคผนวก ข-6)

3.1.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture Analyzer) วัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fractulability) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sangnark et al. (2015) (ภาคผนวก ข-10)

3.1.6 การประเมินลักษณะทางโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning Election Microscope, SEM)

ทำการศึกษาโครงสร้างภาพตัดขวาง (cross section) ของขนมขบเคี้ยว ตามวิธีของ

อาภัสรา แสงนาค และคณะ (2555) โดยหักชิ้นตัวอย่างขนาดสูงประมาณ 10 มิลลิเมตร โดยใช้กรรไกรตัด วางในแนวตั้งสำหรับศึกษาภาพตัดขวางโดยใช้ นำตัวอย่างไปเคลือบทองโดยใช้เครื่อง shutter-coater ในสภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ใช้ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 8 และ 50 เท่า

3.2 การวิเคราะห์การสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) โดยทำการเตรียมตัวอย่างขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองตามวิธีของ ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) และทำการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระตามวิธีของ Vate and Benjakul (2013) (ภาคผนวก ก-8)

3.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำขนมขบเคี้ยวที่เตรียมได้มาทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบความชอบของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม 9-Point Hedonic โดยใช้แบบประเมิน ภาคผนวกที่ จ-2 ใช้ผู้ทดสอบนิสิตภาควิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทายาลัยบูรพา จำนวน 30 คน

ตารางที่ 3-1 การจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (3x3) โดยกำหนดให้ความชื้นของส่วนผสม และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) เป็นปัจจัยหลัก

สิ่งทดลองที่	ความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ)	อุณหภูมิบาร์เรล (องศาเซลเซียส)
1	15	90
2	15	100
3	15	110
4	20	90
5	20	100
6	20	110
7	25	90
8	25	100
9	25	110

3.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD (completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมบัติทางกายภาพ และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี Tukey's multiple comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD (randomized complete block design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's multiple comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab for windows version 17.0

3.5 การพิจารณาเลือกสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่เหมาะสม

พิจารณาเลือกระดับความชื้น และอุณหภูมิของบาร์เรลชุดที่ 1 ที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย มีจากคะแนนความชอบโดยรวมตั้งแต่ 6 คะแนนขึ้นไป และมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ และเนื้อสัมผัส ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกที่คัดเลือกจากตอนที่ 3 มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในระหว่างการเก็บรักษา โดยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกในถุงขนาด 8x11 นิ้ว โดยถุงบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ฟิล์มพลาสติกต่างชนิดกัน 2 ชนิด คือ

(1) ถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ซึ่งทำจากฟิล์พลาสติกชนิด oriented polypropylene (OPP) หนา 50 ไมครอน เคลือบด้วยฟิล์ม cast polypropylene (CPP) หนา 40 ไมครอน

(2) ถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ซึ่งทำจากฟิล์พลาสติกชนิด oriented polypropylene (OPP) หนา 50 ไมครอน เคลือบด้วยฟิล์ม metalized polyethylene terepthalate (MPET) หนา 12 ไมครอน และ cast polypropylene (CPP) หนา 40 ไมครอน

โดยบรรจุขนมขบเคี้ยวถุงละ 30 กรัม ร่วมกับบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศโดยพ่นก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 99.99 จากนั้นทำการเก็บบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซสเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ในระหว่างการเก็บรักษา ทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาประเมินคุณภาพทุก 2 สัปดาห์ ทำการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (2x7) (แสดงดังตารางที่ 3-2) โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพของขนมขบเคี้ยว ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

4.2 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่า a_w NOVASINA รุ่น AWC water activity center (ภาคผนวก ข-11)

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ตามวิธีของ Pearson (1976) (ภาคผนวก ก-8)

4.4 การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) โดยทำการเตรียมตัวอย่างขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองตามวิธีของ ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) และทำการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระตามวิธีของ Vate and Benjakul (2013) (ภาคผนวก ก-8)

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) วัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fractulability) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sangnark et al. (2015) (ภาคผนวก ข-10)

4.6 การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมาทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธี (BAM, 2003) (ภาคผนวก ค-1) และวิเคราะห์ปริมาณปริมาณยีสต์ ราทั้งหมด ตามวิธี BAM (2001) (ภาคผนวก ค-3)

4.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำขนมขบเคี้ยวในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษามาทำการทดสอบความชอบ ด้วยวิธี 9-point hedonic ของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม และทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ ใช้แบบประเมิน ภาคผนวกที่ จ-2 ใช้ผู้ทดสอบนิสิตภาควิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จำนวน 30 คน โดยที่ตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสนั้นต้องมีปริมาณจุลิทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า $1.0x10^4$ ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสของอาหาร ฉบับที่ 3)

4.8 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD (completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in

RCBD (randomized complete block design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's multiple comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab for windows version 17.0

ตารางที่ 3-2 การจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (2x7) โดยกำหนดให้ชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหลัก

สิ่งทดลองที่	ชนิดบรรจุภัณฑ์	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)
1	OPP/CPP	0
2	OPP/CPP	2
3	OPP/CPP	4
4	OPP/CPP	6
5	OPP/CPP	8
6	OPP/CPP	10
7	OPP/CPP	12
8	OPP/MPET/CPP	0
9	OPP/MPET/CPP	2
10	OPP/MPET/CPP	4
11	OPP/MPET/CPP	6
12	OPP/MPET/CPP	8
13	OPP/MPET/CPP	10
14	OPP/MPET/CPP	12

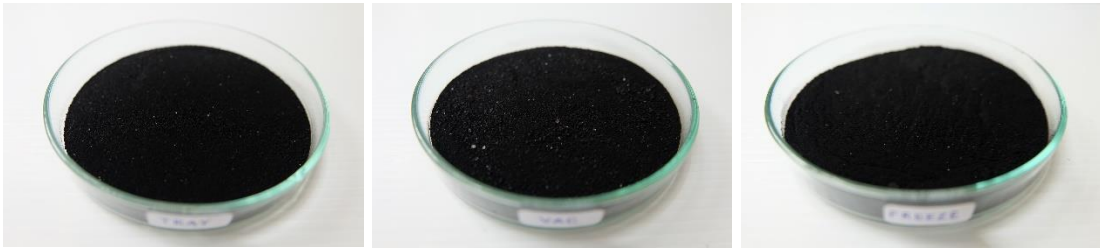
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

4.1.1 ผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

จากการเตรียมน้ำหมึกจากหมึกกล้วยในรูปผง โดยใช้วิธีการทำแห้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปบดให้ละเอียด ได้น้ำหมึกผงที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำ โดยพบว่าน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะเป็นผงที่ฟูและเบา กว่าน้ำหมึกผงที่ได้จากการทำแห้งอีก 2 วิธี ดังภาพที่ 4-1



(ก) ลมร้อน (ข) สุญญากาศ (ค) แช่เยือกแข็ง

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ก) การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท 6 ชั่วโมง (ข) และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ค)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่าความชื้นหลังการทำแห้งของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความชื้นต่ำที่สุด (ร้อยละ 7.17) รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด และการทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ ตามลำดับ (ร้อยละ 9.49 และ 10.82 ตามลำดับ)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผง พบว่ามีปริมาณ โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธีนั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในด้านปริมาณโปรตีนของน้ำหมึกผง พบว่าน้ำหมึกผงจากการทำแห้งด้วยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของน้ำหมึกผงจากการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่าปริมาณไขมันของน้ำหมึกผงที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธีนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีปริมาณไขมันต่ำคือ ร้อยละ 0.09 น้ำหนักฐานแห้ง จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าจะพบว่าน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ ($p\geq0.05$) ในขณะที่ปริมาณเถ้าของน้ำหมึกที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ กับน้ำหมึกที่ทำแห้งด้วยลมร้อนมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) และในส่วนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของน้ำหมึกผงจากการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่ามีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยน้ำหมึกที่ทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบลมร้อนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกที่ทำแห้งด้วยสุญญากาศ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ

การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้นั้น ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH เทียบกับ Trolox และวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลงหรือที่เหลือจากค่าการดูดกลืนแสง จากผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้ง 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่า น้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ ร้อยละ 98.89 88.49 และ 87.23 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเทียบกับ Trolox พบว่า น้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เทียบกับ Trolox สูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1323.45 1010.73 และ 911.44 μMTE/กรัม ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธี (ตารางที่ 4-2) พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3621.21 3357.58 และ 3081 μMTE/กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผงที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี

วิธีการทำแห้ง	ความชื้น (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)*	ไขมัน (ร้อยละ)*^{ns}	เถ้า (ร้อยละ)*^{ns}	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)*
ลมร้อน	9.49±0.36^{b}	62.38±0.05^{c}	0.09±0.00	10.04±0.02	26.22±0.47^{b}
สุญญากาศ	10.82±0.21^{a}	63.24±0.03^{b}	0.09±0.00	10.45±0.46	27.48±0.07^{a}
แช่เยือกแข็ง	7.17±0.10^{c}	64.09±0.10^{a}	0.09±0.00	10.79±0.21	25.03±0.30^{c}

$^{a,b,\cdots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \geq 0.05$)

* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)

ตารางที่ 4-2 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี

วิธีการทำแห้ง	%Inhibition (ร้อยละ)	DPPH[1] (μMTE/g sample)	FRAP[2] (μMTE/g sample)
ลมร้อน	87.23±1.54[b]	911.44±40.66[c]	3081.81±22.88[c]
สุญญากาศ	88.49±0.84[b]	1010.73±22.32[b]	3357.58±27.27[b]
แช่เยือกแข็ง	98.89±0.19[a]	1323.45±4.98[a]	3621.21±31.93[a]

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

[1] DPPH หมายถึง DPPH radical scavenging activity หรือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

[2] FRAP หมายถึง Ferric Ion reducing antioxidant power (FRAP) assay หรือ ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ

4.1.2 ผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

นำน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด ตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L*, a*, b*) ความสามารถในการละลาย และความหนาแน่น ได้ผลดังตารางที่ 4-3

4.1.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผง แสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่ากระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผง 3 วิธี มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำหมึกผงที่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าความสว่างของหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 15.84 15.48 และ 14.80 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าน้ำหมึกที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างต่ำที่สุด แสดงถึงตัวอย่างมีความเป็นสีดำมากที่สุด ในส่วนของค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันทั้ง 3 กระบวนการมีค่า a* เป็นบวก ซึ่งแสดงความเป็นสีแดง และค่า a* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.99-1.06 และพบว่าค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่า b* เป็นลบ ซึ่งแสดงความเป็นสีน้ำเงิน โดยน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบเยือกแข็งมีค่า b* มากที่สุด และน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบลมร้อนมีค่า b* น้อยที่สุด แต่น้ำหมึก

ผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและลมร้อนมีค่า b* ไม่แตกต่างกับน้ำหมึกผงที่ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ โดยค่า b* ของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งจากทั้ง 3 วิธีมีค่าระหว่าง -1.02 ถึง -1.21

4.1.2.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายและความหนาแน่นของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำและความหนาแน่นของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธี (ตารางที่ 4-3) พบว่าความสามารถในการละลายน้ำและความหนาแน่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยความสามารถในการละลายน้ำของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 11.61 14.83 และ 15.12 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และพบว่าน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศมีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด ตามลำดับ และจากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นจะเห็นได้ว่าน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นมีความหนาแน่นต่ำที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ และน้ำหมึกผงที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-3 สมบัติทางกายภาพของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี

วิธีการทำแห้ง	L*	a* ^{ns}	b*	ความสามารถในการละลาย (g/100g.)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
ลมร้อน	15.84 ± 0.06^{a}	0.99 ± 0.03	-1.02 ± 0.09^{b}	11.61 ± 0.24^{b}	0.64 ± 0.02^{a}
สุญญากาศ	15.48 ± 0.17^{b}	1.06 ± 0.04	-1.14 ± 0.09^{ab}	14.83 ± 0.06^{a}	0.45 ± 0.01^{b}
แช่เยือกแข็ง	14.80 ± 0.08^{c}	1.05 ± 0.08	-1.21 ± 0.08^{a}	15.12 ± 0.10^{a}	0.43 ± 0.00^{c}

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

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

4.1.3 ผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

นำน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด ทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4-4 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ พบว่า น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า $1x10^1$ cfu/g และมีปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด น้อยกว่า 3 MPN/g

ตารางที่ 4-4 ปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ปริมาณจุลินโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN/g)
ลมร้อน	$< 1.00x10^1$	< 3
สุญญากาศ	$< 1.00x10^1$	< 3
แช่เยือกแข็ง	$< 1.00x10^1$	< 3

4.1.4 ผลการพิจารณาเลือกวิธีการทำแห้งน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำหมึกผงจากวิธีการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีน และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด น้ำหมึกผงที่ได้มีสีดำ ตามธรรมชาติของน้ำหมึก และมีค่าการละลายสูงสุด อีกทั้งน้ำหมึกผงที่เตรียมได้มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นจึงเลือกน้ำหมึกผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2 ต่อไป

4.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า

เมื่อนำน้ำหมึกผงที่เตรียมด้วยการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 มาผสมลงในส่วนผสมเพื่อผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า โดยแปรปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง โดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 15 ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ ปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) 110 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 คงที่ (compression zone) 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบของสกรูคงที่ 150 รอบต่อนาที ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีลักษณะดังภาพที่ 4-2 จากภาพจะเห็นได้ว่า ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่ไม่เติมน้ำหมึกผงมีสีขาว และเมื่อเติมน้ำหมึกผงลงในขนมขบเคี้ยวมีสีดำ ที่แตกต่างกับที่ไม่เติมน้ำหมึกผงอย่างชัดเจน และจากภาพลักษณะปรากฏเมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผง จะพบว่าขนมขบเคี้ยวมีลักษณะพองตัวลดลง รูปร่างบิดเกลียว โดยเฉพาะขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 และ 10.0

(ก) น้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 (ข) น้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 (ค) น้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 (ง) น้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 (จ) น้ำหมึกผงร้อยละ 10.0

ภาพที่ 4-2 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-5 จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยลงในขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า ทำให้ปริมาณ

โปรตีนมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าที่ไม่เสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยลงในขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 10.0 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-5 ปริมาณโปรตีน และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)*	%Inhibition (ร้อยละ)*	DPPH (μMTE/g sample)*	FRAP (μMTE/g sample)*
0.0	4.14±0.89^{d}	22.42±0.57^{e}	12.23±5.30^{e}	181.82±90.91^{e}
2.5	8.27±0.45^{c}	25.57±0.35^{d}	305.81±32.22^{d}	621.21±26.24^{d}
5.0	10.89±0.72^{b}	26.43±0.26^{c}	385.32±24.27^{c}	787.88±94.62^{c}
7.5	12.15±0.43^{a}	27.05±0.25^{b}	443.43±23.09^{b}	1257.57±69.43^{b}
10.0	12.91±0.48^{a}	29.91±0.19^{a}	522.93±18.34^{a}	1500.00±120.26^{a}

$^{a,b,\cdots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)

4.2.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-6 พบว่า เมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้นที่ร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 มีผลทำให้ค่า L* ซึ่งแสดงถึงความสว่าง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และจากผลการวิเคราะห์ค่า a* ซึ่งแสดงถึงค่าความเป็นสีแดง พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า a* เป็นลบ คือมีความเป็นสีเขียว แต่ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงทุกระดับมีค่า a* เป็นบวก คือตัวอย่างมีความเป็นสีแดง โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 2.5 ถึง 10.0 มีค่า a* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในด้านค่า b* แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงินเหลือง พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า b* ต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง ($p<0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อย 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 มีค่า b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-6 ค่าสี L* a* b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	L*	a*	b*
0.0	82.61±0.06[a]	-0.22±0.04[b]	12.14±0.11[a]
2.5	23.57±0.16[b]	0.92±0.26[a]	0.95±0.54[b]
5.0	21.13±0.08[c]	0.60±0.20[a]	0.92±1.44[b]
7.5	19.72±0.08[d]	0.53±0.08[a]	0.64±0.27[b]
10.0	17.18±0.12[c]	0.72±0.16[a]	0.51±0.18[b]

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

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวและความหนาแน่น

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนัก ได้ผลดังตารางที่ 4-7 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อสัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองที่เติมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยร้อยละ 2.5 มีสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด เท่ากับ 3.16 รองลงมาเป็นขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง และเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 และ 10.0 มีสัดส่วนการพองตัวน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย พบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงลงในขนมขบเคี้ยวมีผลทำให้ความหนาแน่นของขนมขบเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงลงไปในปริมาณร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4- 7 สัดส่วนการพองตัวและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	สัดส่วนการพองตัว	ความหนาแน่น (กรัม/100 กรัม)
0.0	2.93 ± 0.13^{b}	0.29 ± 0.01^{a}
2.5	3.16 ± 0.14^{a}	0.16 ± 0.01^{b}
5.0	2.86 ± 0.12^{b}	0.16 ± 0.01^{b}
7.5	2.46 ± 0.08^{c}	0.16 ± 0.01^{b}
10.0	2.36 ± 0.07^{c}	0.16 ± 0.00^{b}

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

4.2.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการละลาย และดัชนีการดูดซับน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการละลาย และดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่ 4-8 จากผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่าดัชนีการละลาย และดัชนีการดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการละลายน้ำ พบว่าขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีค่าการละลายน้ำสูงที่สุด โดยการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 2.5 5.0 และ 7.5 มีค่าการละลายที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 2.5 ทำให้ค่าดัชนีการดูดซับน้ำต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้เติมน้ำหหมึกผง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 5.0 7.5 และ 10.0 ค่าดัชนีดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 5.0 7.5 และ 10.0 มีค่าการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4- 8 ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	ดัชนีการละลายน้ำ	ดัชนีการดูดซับน้ำ
0.0	14.02 ± 1.83^{c}	7.67 ± 0.18^{a}
2.5	13.61 ± 1.87^{c}	6.36 ± 1.14^{b}
5.0	13.81 ± 0.51^{c}	7.75 ± 0.24^{a}
7.5	15.84 ± 1.36^{bc}	7.04 ± 0.32^{a}
10.0	17.72 ± 1.52^{a}	7.48 ± 0.25^{a}

$^{a,b,\cdots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.2.2.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มาทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งได้แก่

ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fracturability) ได้ผลดังตารางที่ 4-9 จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่าความแข็งและค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้นในทุกระดับมีผลทำให้ความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผงมีค่าความแข็งสูงที่สุด และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีค่าความแข็งต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะ พบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่าความแตกเปราะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงจากร้อยละ 0.0 เป็นร้อยละ 5.0 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ได้มีค่าความแตกเปราะลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 7.5 และ 10.0 ทำให้ขนมขบเคี้ยวมีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4- 9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	ค่าความแข็ง (gf.)	ค่าความแตกเปราะ (mm.)
0.0	3177.12±12.80[a]	2.12±0.06[a]
2.5	2543.46±45.57[b]	1.49±0.25[b]
5.0	2175.25±70.53[c]	1.24±0.03[c]
7.5	1385.47±70.32[d]	1.40±0.05[bc]
10.0	712.85±11.75[e]	2.00±0.07[a]

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

4.2.3 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มาทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบความเข้มของค่าคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง ด้วยวิธี scoring ได้ผลดังตารางที่ 4-10 และผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของค่าคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง

จากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-11

จากผลการประเมินพบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ความเข้มของสีดำ กลิ่นคาว กลิ่นรสหมึกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในด้านความแข็งพบว่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่าลดลงต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง และในส่วนของค่าความกรอบ และพบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้ามีค่าสูงที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 10.0 มีค่าความกรอบต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกัน ($p<0.05$) ด้านลักษณะปรากฏพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 2.5 5.0 และ 7.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏน้อยที่สุด ($p<0.05$) ในส่วนคะแนนความชอบด้านสี พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด แต่มีคะแนนไม่แตกต่างกับขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 5.0 และ 10.0 ($p\geq0.05$) ด้านคะแนนความชอบด้านกลิ่น พบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 และ 7.5 ($p\geq0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นน้อยที่สุด ($p<0.05$) ส่วนความชอบด้านกลิ่นรส พบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด รองลงมาเป็นขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 และ 7.5 และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนต่ำที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด ($p<0.05$) รองลงมาคือขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 2.5 7.5 และ 10.0 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และขนมขบ

เคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด ($p<0.05$) และจากผลคะแนนการยอมรับโดยรวม พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 7.07 คะแนน อยู่ในระดับชอบมาก สรุปได้ว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้น คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวม

ตารางที่ 4-10 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของค่าต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ ด้วยวิธี Scoring

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	สีดำ	กลิ่นคาว	กลิ่นรสหมึก	ความแข็ง	ความกรอบ
0.0	1.00 ± 0.00^{c}	1.00 ± 0.00^{e}	1.03 ± 0.18^{d}	4.33 ± 1.03^{a}	2.00 ± 0.64^{c}
2.5	3.10 ± 0.77^{b}	2.60 ± 1.00^{d}	2.17 ± 0.83^{c}	2.77 ± 0.85^{bc}	3.10 ± 0.84^{a}
5.0	3.17 ± 0.75^{b}	2.00 ± 0.60^{c}	2.00 ± 0.78^{c}	2.37 ± 1.09^{cd}	3.17 ± 1.12^{a}
7.5	4.27 ± 0.87^{a}	2.97 ± 0.77^{b}	2.57 ± 0.93^{b}	3.10 ± 0.92^{b}	2.50 ± 0.68^{b}
10.0	4.57 ± 0.77^{a}	3.67 ± 1.15^{a}	3.20 ± 1.06^{a}	2.23 ± 0.82^{d}	1.80 ± 0.66^{c}

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

ตารางที่ 4-11 ผลคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ ในด้านต่าง ๆ ด้วยวิธี 9-point hedonic scale

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0.0	6.33±1.88^{a}	5.90±1.84^{b}	5.77±1.75^{b}	5.23±1.79^{d}	4.80±2.07^{c}	5.53±1.79^{c}
2.5	6.63±1.37^{a}	6.57±1.28^{ab}	5.93±1.23^{a}	6.10±1.18^{b}	5.97±1.65^{b}	6.23±1.33^{b}
5.0	6.57±1.43^{a}	6.13±1.50^{ab}	6.27±1.38^{a}	6.73±1.25^{a}	6.97±1.33^{a}	7.07±1.33^{a}
7.5	6.83±1.15^{a}	6.77±1.33^{a}	5.77±1.16^{ab}	5.90±1.21^{bc}	5.50±1.55^{b}	5.97±1.21^{bc}
10.0	5.33±1.77^{b}	6.30±1.47^{ab}	5.27±1.46^{b}	5.50±1.19^{cd}	5.33±1.47^{bc}	5.40±1.25^{c}

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

4.2.4 ผลการพิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และได้คะแนนมากกว่า 6 คะแนน รวมทั้งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ) สูง และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าคุณภาพด้านอื่น ๆ พบว่า ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและสัดส่วนการพองตัวมาก และมีค่าความแตกเปราะต่ำ ดังนั้นจึงคัดเลือกผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ของน้ำหนักแป้งมาศึกษาในตอนต่อไป

4.3 ผลการศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

ศึกษาผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่คัดเลือกมาจากข้อ 4.2 คือร้อยละ 5.0 โดยปัจจัยที่ต้องการศึกษามีด้วยกัน 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15 20 และ 25 และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) เป็น 3 ระดับ คือ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส กำหนดความเร็วรอบของสกรูคงที่ 140 รอบต่อนาที และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) 80 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกที่ได้จากการพัฒนากระบวนการผลิตมีลักษณะดังภาพที่ แสดงดังภาพที่ 4-3

จากภาพลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกที่สภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันแตกต่างกัน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏที่แตกต่างกัน ในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 15 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้นจาก 90 องศาเซลเซียส เป็น 100 และ 110 องศาเซลเซียส ขนมขบเคี้ยวที่ได้จะมีลักษณะบิดเกลียว พื้นผิวด้านนอกไม่เรียบ แตกเป็นริ้ว และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะพอง แสดงดังภาพที่ 4-3(ก) (ข) และ (ค) และเมื่อความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ได้มีลักษะพองมากกว่าที่สภาวะความชื้นร้อยละ 15 และ 25 ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้จากส่วนผสมที่มีความชื้นร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส มีลักษณะพองมากกว่าที่สภาวะอื่น ๆ ดังภาพที่ 4-3(ง) (จ) และ (ฉ) และจากการสังเกตพบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 25 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีลักษณะพองน้อยกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 และ 20 พื้นผิวด้านนอกไม่เรียบเนียนเป็นรอยแตก แสดงดังภาพที่ 4-3(ช) (ซ) และ (ฌ)

(ก) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 90 °C (ข) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 100 °C (ค) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 110 °C

(ง) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 90 °C (จ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 100 °C (ฉ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 110 °C

(ช) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 90 °C (ซ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100 °C (ฌ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 110 °C

ภาพที่ 4-3 ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ

4.3.1 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์ผลความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว ดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ ความหนาแน่น ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะ โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม แสดงผลดังตาราง ANOVA ได้ผลดังตารางที่ 4-12 จากตารางพบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม มีผลต่อค่าคุณภาพ คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นค่าความหนาแน่น ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-12 ค่า F(p) ของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0

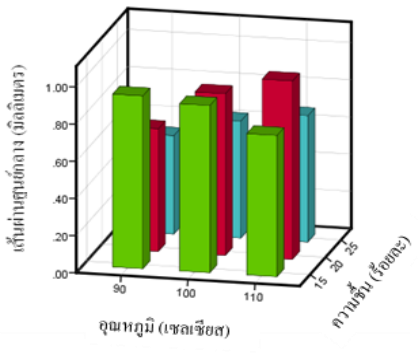
แหล่งความแปรปรวน	F(p)						
	เส้นผ่าศูนย์กลาง	ดัชนีการละลายน้ำ	ดัชนีการดูดซับน้ำ	สัดส่วนการพองตัว	ความหนาแน่น	ค่าความแข็ง	ค่าความแตกเปราะ
อุณหภูมิ	2.463(0.117)	169.352*(0.000)	3.129(0.071)	2.507(0.113)	1.494(0.254)	55.877*(0.000)	1.829(0.193)
ความชื้น	14.410*(0.000)	533.772*(0.000)	1023.256*(0.000)	14.525*(0.000)	41.749*(0.00)	1399.342*(0.000)	957.717*(0.000)
อุณหภูมิxความชื้น	4.031*(0.019)	5.889*(0.004)	92.810*(0.000)	4.052*(0.019)	1.864(0.166)	136.039*(0.000)	53.777*(0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

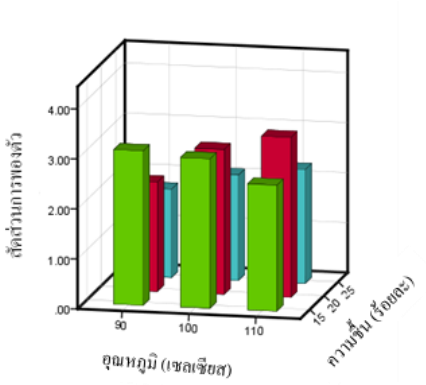
ตารางที่ 4-13 เส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลาย ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ผลิตจากการแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (^{o}C)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	สัดส่วนการพองตัว	การดูดซับน้ำ	การละลายน้ำ	ค่าความแข็ง (gf)	ค่าความแตกเปราะ (mm)
1	15	90	0.93 ± 0.03^{ab}	3.09 ± 0.09^{ab}	6.68 ± 0.10^{c}	13.37 ± 0.05^{g}	2005.01 ± 52.12^{d}	1.24 ± 0.03^{f}
2		100	0.90 ± 0.02^{ab}	2.99 ± 0.05^{ab}	6.14 ± 0.10^{d}	13.47 ± 0.02^{g}	1403.12 ± 139.65^{e}	1.78 ± 0.09^{e}
3		110	0.76 ± 0.02^{bcd}	2.52 ± 0.07^{bcd}	5.91 ± 0.05^{e}	13.78 ± 0.08^{f}	871.42 ± 70.36^{f}	2.00 ± 0.02^{d}
4	20	90	0.66 ± 0.04^{bde}	2.19 ± 1.03^{de}	6.93 ± 0.09^{b}	13.76 ± 0.04^{f}	2055.12 ± 119.90^{d}	1.25 ± 0.03^{f}
5		100	0.87 ± 0.03^{abc}	2.90 ± 0.09^{abc}	7.68 ± 0.04^{a}	14.04 ± 0.14^{e}	2176.89 ± 102.30^{d}	1.24 ± 0.03^{f}
6		110	0.96 ± 0.01^{a}	3.20 ± 0.03^{a}	7.71 ± 0.08^{a}	14.35 ± 0.03^{c}	2179.53 ± 187.86^{d}	1.20 ± 0.02^{f}
7	25	90	0.53 ± 0.01^{e}	1.77 ± 0.04^{e}	7.73 ± 0.01^{a}	14.15 ± 0.06^{d}	3010.46 ± 83.37^{c}	3.28 ± 0.18^{a}
8		100	0.63 ± 0.01^{ade}	2.11 ± 0.02^{de}	7.75 ± 0.08^{a}	14.58 ± 0.06^{b}	4960.90 ± 128.72^{a}	2.96 ± 0.13^{b}
9		110	0.68 ± 0.04^{cde}	2.28 ± 0.12^{cde}	7.75 ± 0.04^{a}	14.78 ± 0.04^{a}	4160.21 ± 94.12^{b}	2.59 ± 0.04^{c}

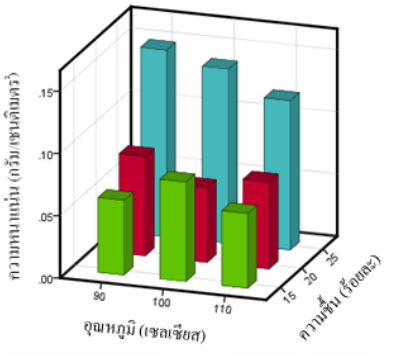
$^{a,b,\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



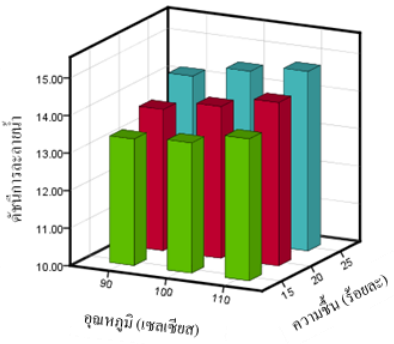
(A) เส้นผ่านศูนย์กลาง



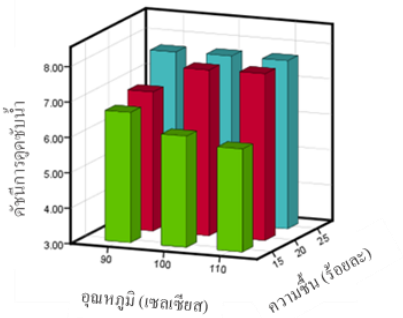
(B) สัดส่วนการพองตัว



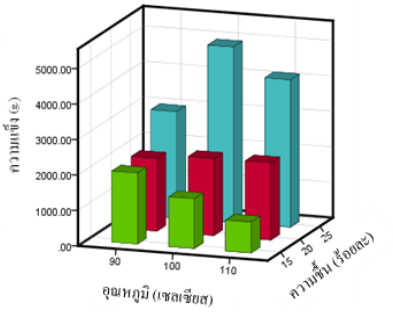
(C) ความหนาแน่น



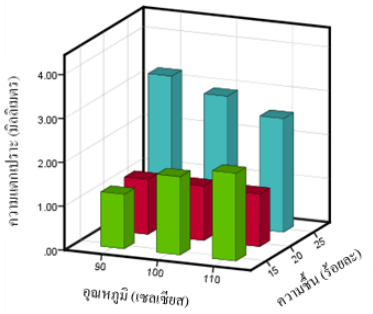
(D) ดัชนีการละลายน้ำ



(E) ดัชนีการดูดซับน้ำ



(F) ความแข็ง



(G) ความแตกเปราะ

ภาพที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิของบาร์เรลและค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0

4.3.1.1 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง

จากผลการวิเคราะห์ค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังตารางที่ 4-12 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลาง (ตารางที่ 4-13 และ ภาพที่ 4-4(A)) พบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งมีสภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 และ อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.96 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 1, 2, 5 และ 8 เมื่อความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 15 และอุณหภูมิของบาร์เรลของเพิ่มมากขึ้น มีผลให้เส้นผ่าศูนย์กลางของขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลง (ตารางที่ 4-13 และ ภาพที่ 4-4(A)) ในทางตรงข้ามเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เส้นผ่าศูนย์กลางของขนมขบเคี้ยวมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

4.3.1.2 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสัดส่วนการพองตัว

จากผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนการพองตัว ดังตารางที่ 4-12 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) ในสภาวะความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 15 จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการพองตัว (ตารางที่ 4-13 และ ภาพที่ 4-4 (B)) พบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งมีสภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 และ อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด (3.20) แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 5 การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลทำให้สัดส่วนการพองตัวมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) และเมื่อความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 และ 25 การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรล ส่งผลให้สัดส่วนการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิของบาร์เรลเดียวกัน ค่าสัดส่วนการพองตัวลดลงเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น

4.3.1.3 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อความหนาแน่น

จากผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังตารางที่ 4-12 พบว่าปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ($p\geq0.05$) เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักพบว่า ความชื้นของส่วนผสมมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมสูงขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4-14 และภาพที่ 4-4(C)) โดยที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 และ 20 มีค่าความหนาแน่นที่ไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าต่ำกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 25 ในส่วนของอุณหภูมิของบาร์เรลไม่มีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-14 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ส่วนผสมความชื้นร้อยละ 15 20 และ 25

ความชื้น (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (g/cm^3)*
15	0.067 ± 0.01^{b}
20	0.069 ± 0.01^{b}
25	0.134 ± 0.03^{a}

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

* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)

4.3.1.4 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อดัชนีการละลายน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลาย ตารางที่ 4-12 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าการละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลาง (ตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-4(D)) พบว่าสิ่งทดลองที่ 9 ที่มีความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 25 และ อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการละลายสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 14.78โดยมีสภาวะ และพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ดัชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.3.1.5 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อดัชนีการดูดซับน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ดัชนีการดูดซับน้ำ ตารางที่ 4-12 พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหูมิของบาร์เรลมีผลต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของดัชนีการดูดซับน้ำ (ตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-4(E)) พบว่าสิ่งทดลองที่ 5-9 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด มีค่าอยู่ในช่วง 7.68-7.75 และพบว่าในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลง แต่เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่าร้อยละ 20 การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลทำให้ค่าดัชนีการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 25 มีผลทำให้ดัชนีการดูดซับน้ำมีค่าสูงที่สุด และไม่แตกต่างกัน (7.68-7.75) โดยอุณหภูมิของบาร์เรลไม่มีผลค่าต่อดัชนีการดูดซับน้ำ

4.3.1.6 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ซึ่งได้แก่ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fracturability) พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม มีผลต่อค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4-12

ความแข็ง หมายถึงค่าแรงกดสูงสุด ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-4(F) พบว่าในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมต่ำ (ร้อยละ 15) การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลทำให้ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น เท่ากับร้อยละ 20 และ 25 พบว่าในสภาวะที่มีความชื้นสูงนี้ การเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าในสภาวะที่อุณหภูมิของบาร์เรลคงที่ เมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 อุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 4960.90 gf.

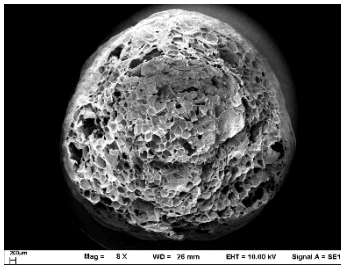
ค่าความแตกเปราะ คือค่าระยะทางที่กดลงไปถึงจุดที่ทำให้ตัวอย่างแตก โดยที่ถ้าตัวอย่างแตกเมื่อใช้ระยะกดสั้น หมายถึงตัวอย่างแตกง่าย คือมีความกรอบมาก จากผลการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะดังตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-4(G) พบว่า ที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด คือใช้ระยะในการกดให้แตกน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาที่สภาวะความชื้นต่ำที่สุด ที่ร้อยละ 15 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความแตกเปราะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลทำให้ค่าความแตกเปราะลดลง พบว่าที่ระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 มีค่าความแตกเปราะระหว่าง 1.24-2.00 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ระยะการกดปานกลาง โดยมีค่าที่สูงกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 20 แต่ต่ำกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 25 ในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 มีค่าความแตกเปราะระหว่าง 1.20-1.25 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 และ 25 และที่ระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 มีค่าความแตกเปราะระหว่าง 2.59-3.28 มิลลิเมตร โดยมีค่าที่สูงกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 และ 20 ซึ่งใช้ระยะกดมาก หมายถึงผลิตภัณฑ์แตกยาก คือ โดยที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 25 อุณหภูมิของบาร์เรล 90 องศาเซลเซียส ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 3.28 ($p<0.05$) และจากผลการทดลองพบว่าระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด เท่ากับ 1.20-1.25 ($p<0.05$) และมีค่าไม่แตกต่างกันในทุกอุณหภูมิของบาร์เรล ($p\geq0.05$)

4.3.1.7 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อโครงสร้างทางจุลภาค

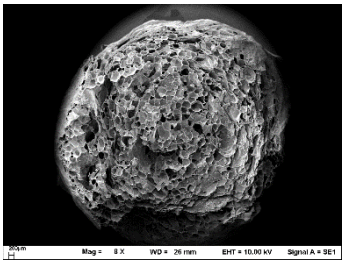
จากผลการประเมินลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ได้ภาพตัดขวางผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 8 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-5 และที่กำลังขยาย 50 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-6

จากภาพที่ 4-5 เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ที่กำลังขยาย 8 เท่า จากภาพตัดขวางจะสามารถสังเกตได้ว่า เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่ามากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการพองตัวลดลง ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 25 อุณหภูมิของบาร์เรล 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4-5(ช) (ซ) และ (ฌ) ตามลำดับ ที่สภาวะความชื้นร้อยละ 15 ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมาก มีฟองอากาศจำนวนมาก ฟองอากาศที่เป็นท่ออย่างชัดเจน แต่เซล์ของฟองอากาศมีลักษณะเล็ก และยุบตัว และมีการฉีกขาด ในระดับความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมาก มีฟองอากาศขนาดใหญ่ กระจายอยู่ทั่วเนื้อผลิตภัณฑ์ และในระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 พบว่าผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อยกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 และ 20 มีฟองอากาศขนาดเล็ก และใหญ่กระจายอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมาก มีฟองอากาศจำนวนมาก ฟองอากาศที่เป็นท่ออย่างชัดเจน แต่เซลล์ของฟองอากาศมีลักษณะเล็ก และมีการยุบตัว

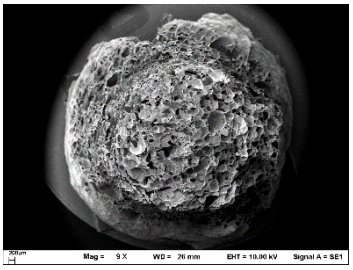
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4-6 แสดงภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ที่กำลังขยาย 50 เท่า จะเห็นถึงลักษณะความหนาของผนังเซลล์ของฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ที่สภาวะต่าง ๆ ซึ่งพบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกัน ที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 และ 20 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะฟองอากาศที่เป็นท่ออย่างชัดเจน ผนังเซลล์ของฟองอากาศมีลักษณะบาง ซึ่งแตกต่างกับที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 ที่มีผนังเซลล์ของฟองอากาศที่หนา และมีฟองอากาศขนาดเล็ก



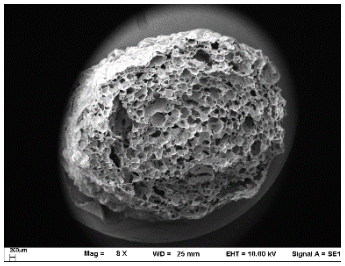
(ก) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 90 °C



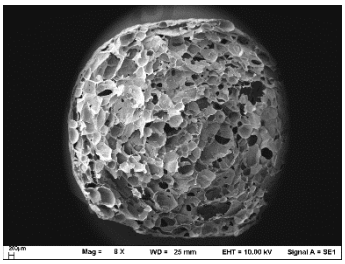
(ข) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 100 °C



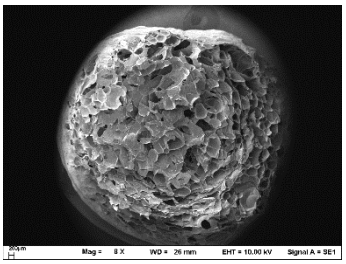
(ค) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 110 °C



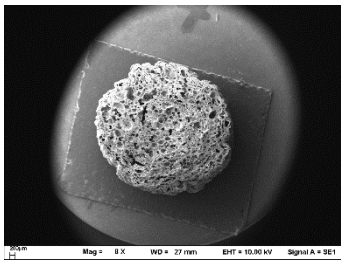
(ง) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 90 °C



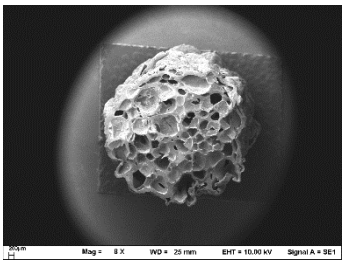
(จ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 100 °C



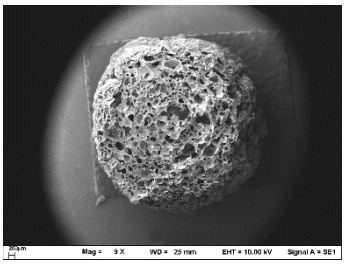
(ฉ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 110 °C



(ช) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 90 °C

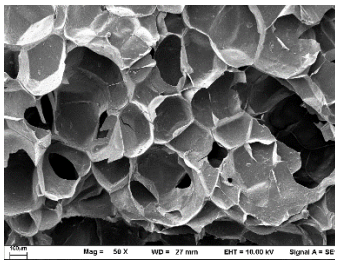


(ซ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100 °C

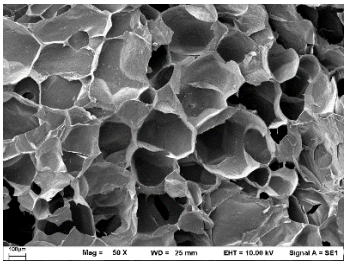


(ฌ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 110 °C

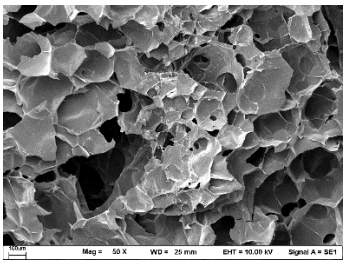
ภาพที่ 4-5 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 8 เท่า



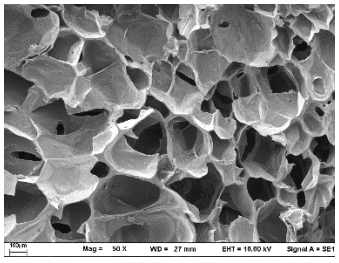
(ก) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 90 °C



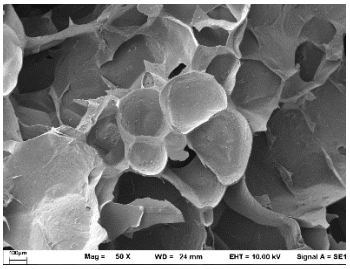
(ข) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 100 °C



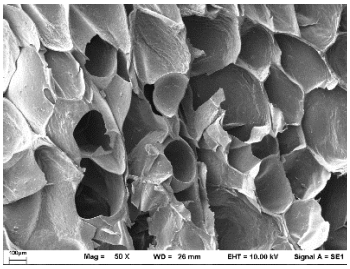
(ค) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 110 °C



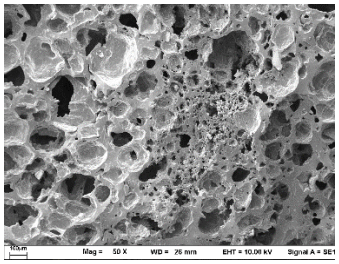
(ง) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 90 °C



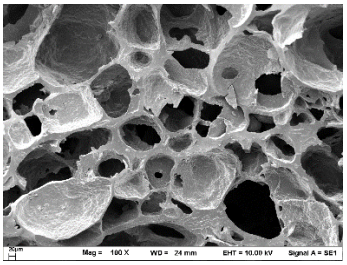
(จ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 100 °C



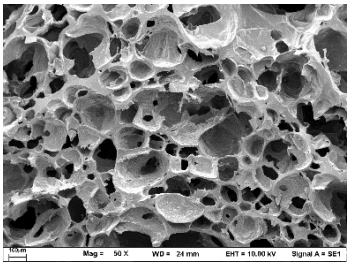
(ฉ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 110 °C



(ช) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 90 °C



(ซ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100 °C



(ฌ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 110 °C

ภาพที่ 4-6 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า

4.3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ แสดงผลดังตาราง ANOVA ตารางที่ 4-15 พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล ไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ($p \geq 0.05$) จึงพิจารณาปัจจัยหลัก พบว่า อุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในขณะที่ความชื้นของส่วนผสมไม่มีผลต่อสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 ค่า

ตารางที่ 4-15 ค่า F(p) ของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)		
	%Inhibition (ร้อยละ*)	DPPH (μmolTE/g sample*)	FRAP (μmolTE/g sample*)
อุณหภูมิ	51.964*(0.000)	4.481*(0.028)	4.900*(0.022)
ความชื้น	4.406(0.080)	0.454(0.643)	2.725(0.096)
อุณหภูมิxความชื้น	1.832(0.172)	0.064 (0.992)	0.400(0.806)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ตารางที่ 4-15 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลไม่มีผลต่อสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักพบว่า อุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อสมบัติในการอนุมูลอิสระ จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-16 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ที่อุณหภูมิของบาร์เรลเป็น 90 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 26.69 แต่มีค่าไม่แตกต่างกับที่อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 26.68) เช่นเดียวกับค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าสูงที่สุด เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเป็น 90 และ 100 องศาเซลเซียส

(408.77 และ 409.79 μmolTE/g sample ตามลำดับ) รวมทั้งค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่าสูงที่สุด เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเป็น 90 และ 100 องศาเซลเซียส (843.43 μmolTE/g sample)

ตารางที่ 4-16 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ

ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	%Inhibition[ns] (ร้อยละ*)	DPPH [ns] (μmolTE/g sample*)	FRAP [ns] (μmolTE/g sample*)
15	90	26.66±0.21	406.73±19.10	803.03±69.43
15	100	26.69±0.15	409.79±14.01	818.18±45.45
15	110	25.43±0.10	385.32±9.18	742.42±69.43
20	90	26.66±0.15	406.73±14.01	878.79±69.43
20	100	26.63±0.26	403.67±24.22	848.48±26.24
20	110	26.33±0.26	376.15±24.27	818.18±45.45
25	90	26.75±0.30	415.90±28.03	848.48± 26.24
25	100	26.72±0.17	412.84±15.88	863.64± 45.45
25	110	26.49±0.20	391.44±19.09	757.58± 69.43

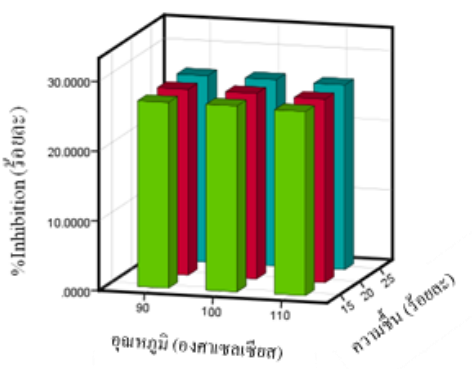
[ns] หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \geq 0.05$)* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)

ตารางที่ 4-17 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรล 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส

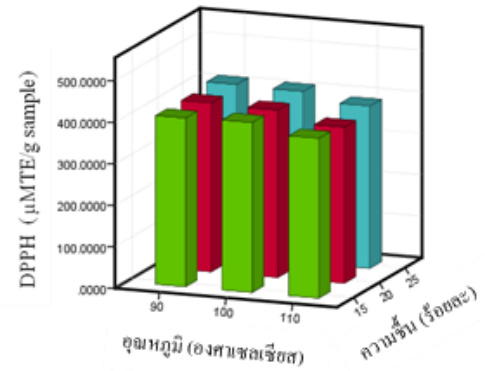
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	%Inhibition (ร้อยละ*)	DPPH (μmolTE/g sample*)	FRAP* (μmolTE/g sample*)
90	26.69 ± 0.20[a]	409.79± 18.91[a]	843.43 ± 48.48[a]
100	26.68 ± 0.18[a]	408.77 ± 16.60[a]	843.43 ± 40.09[a]
110	26.41 ± 0.19[b]	384.32 ± 17.43[b]	782.83 ± 42.28[b]

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

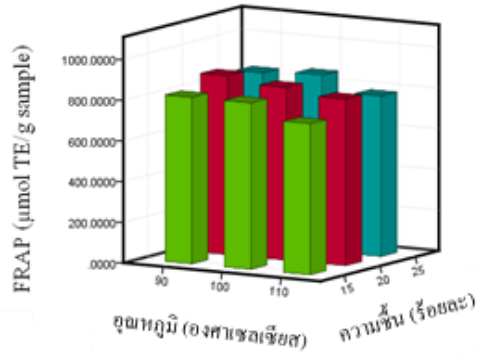
* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)



(A) %Inhibition



(B) DPPH



(C) FRAP

ภาพที่ 4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิของบาร์เรลและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0

4.3.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส ตารางที่ 4-18 พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลมีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) แต่ปัจจัยร่วม ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-18 ค่า F(p) ของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
อุณหภูมิ	30.485*(0.000)	2.071(0.128)	0.209(0.812)	2.671(0.071)	32.949*(0.000)	57.405*(0.000)
ความชื้น	82.895*(0.000)	2.071(0.128)	21.489*(0.000)	85.289*(0.000)	159.847*(0.000)	155.813*(0.000)
อุณหภูมิxความชื้น	25.506*(0.000)	2.071(0.085)	5.216*(0.000)	3.171*(0.015)	56.936*(0.000)	81.412*(0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-19 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะปรากฏ	สี[ns]	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	15	90	6.00±0.64^{cd}	7.10±0.48	6.60±0.48^{ab}	6.53±0.51^{a}	6.47± 0.63^{b}	6.27± 0.45^{bc}
2		100	6.10±0.71^{bc}	7.10±0.48	6.60±0.50^{ab}	6.53±0.51^{a}	6.47±0.63^{b}	6.13±0.35^{c}
3		110	5.10±0.84^{f}	7.10±0.48	6.70±0.47^{ab}	6.27±0.45^{b}	5.53±0.73^{c}	5.13±0.51^{de}
4	20	90	5.70±0.79^{de}	7.10±0.48	6.50±0.51^{bc}	6.53±0.51^{a}	5.40±0.89^{c}	5.00±0.64^{e}
5		100	7.40±0.50^{a}	7.10±0.48	6.80±0.41^{a}	6.60±0.49^{a}	7.07±0.69^{a}	7.00±0.53^{a}
6		110	6.40±0.67^{b}	7.10±0.48	6.80±0.40^{a}	6.60±0.49^{a}	6.87±0.73^{ab}	6.47±0.51^{b}
7	25	90	5.40±0.67^{ef}	7.10±0.48	6.50±0.51^{bc}	6.07±0.25^{bc}	5.27±0.02^{c}	4.53±0.73^{f}
8		100	5.30±0.79^{f}	7.10±0.48	6.30±0.47^{c}	6.00±0.00^{e}	5.27±0.02^{c}	4.93±0.69^{e}
9		110	5.30±0.65^{f}	7.03±0.55	6.20±0.41^{d}	6.00±0.00^{c}	5.13±0.82^{c}	5.40±0.49^{d}

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

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4-18) พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมมีผลทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏมีค่าแตกต่างกัน ($p<0.05$) จากผลคะแนนการทดสอบประสาทสัมผัส ตารางที่ 4-19 พบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด (7.40) ในส่วนของคะแนนความชอบด้านสี พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสีไม่แตกต่างกัน สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่น พบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรลเป็น 100 และ 110 องศาเซลเซียส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด (6.80) แต่ไม่แตกต่างกับที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 อุณหภูมิของบาร์เรล 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงที่สุดที่สภาวะความชื้นร้อยละ 15 อุณหภูมิบาร์เรล 90 และ 100 องศาเซลเซียส และที่สภาวะความชื้นร้อยละ 20 อุณหภูมิ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.53-6.60 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 100 และ 110 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด (6.87-7.07) และพบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส มีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 7.00

4.3.5 ผลการพิจารณาเลือกสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยร้อยละ 5.0 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในสภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 อุณหภูมิของบาร์เรล 90 และ 100 องศาเซลเซียส และในสภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรล 100 และ 110 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน โดยที่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยสภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด 7.00 คะแนน ($p<0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพ พบว่ามีสัดส่วนการพองตัวสูง ความแข็งปานกลาง และมีความแตกเปราะต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทั่วไป อีกทั้งยังมีความหนาแน่นต่ำ และมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ร้อยละ 26.63 ดังนั้นจึงคัดเลือกผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ผลิตด้วยสภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส นำไปศึกษาในตอนต่อไป

4.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยร้อยละ 5.0 และผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรลชุดที่ 1 เท่ากับ 100 องศาเซสเซียส ความเร็วรอบสกรู 140 รอบต่อนาที ซึ่งคัดเลือกจากผลการทดลองตอนที่ 3 มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในระหว่างการเก็บรักษา โดยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกในถุงขนาด 8x11 นิ้ว โดยใช้ฟิล์มพลาสติกต่างชนิดกัน 2 ชนิด คือ ชนิด OPP/CPP และชนิด OPP/MPET/CPP ร่วมกับบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศโดยพ่นก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 99.99 ลักษณะของผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพที่ 4-8 จากนั้นทำการเก็บผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซสเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ในระหว่างการเก็บรักษาทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาประเมินคุณภาพทุก 2 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังนี้

(ก) OPP/CPP (ข) OPP/MPET/CPP

ภาพที่ 4-8 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในถุงที่ใช้ฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP (ก) และถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP (ข)

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบแฟคทอเรียล แสดงผลดังตาราง ANOVA ตารางที่ 4-20 พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อปริมาณความชื้น ค่า aw ความแข็ง ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ($p<0.05$) แต่ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ของผลิตภัณฑ์ ($p\geq0.05$)

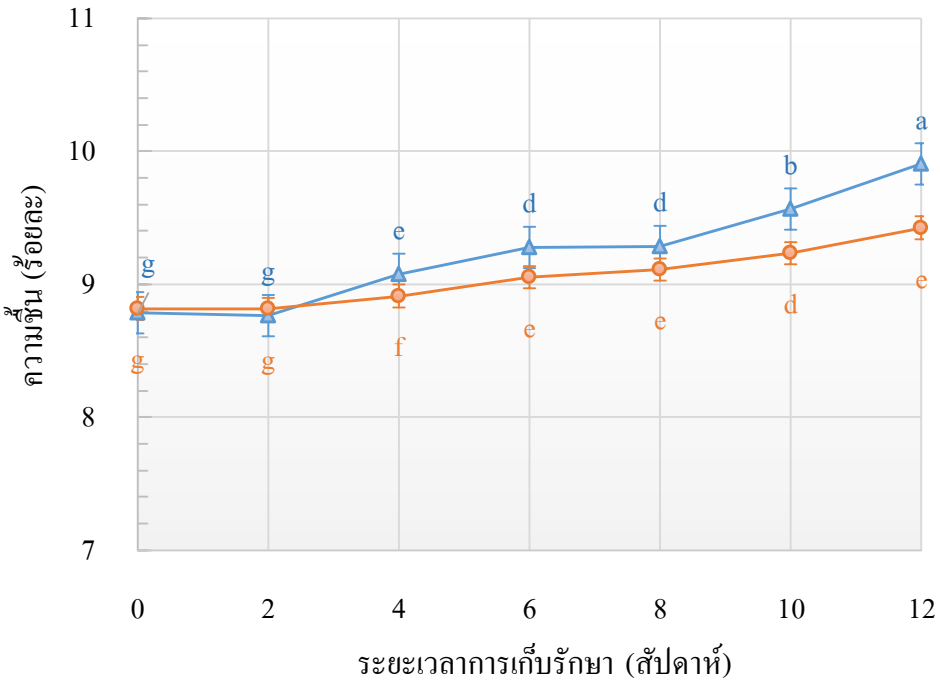
ตารางที่ 4-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)							
	ความชื้น	a_w	TBA	ค่าความแข็ง	ค่าความแตกเปราะ	Inhibition	DPPH	FRAP
บรรจุภัณฑ์	270.501*(0.000)	460.366*(0.000)	0.000(1.000)	264.274*(0.000)	506.582*(0.000)	69.916*(0.000)	70.632*(0.000)	101.641*(0.000)
เวลาเก็บรักษา	456.810*(0.000)	1112.867*(0.000)	0.320(0.320)	930.640*(0.000)	516.322*(0.000)	57.523*(0.000)	57.543*(0.000)	53.640*(0.000)
บรรจุภัณฑ์x เวลาเก็บรักษา	40.080*(0.000)	64.859*(0.000)	0.141(0.141)	27.405*(0.000)	46.553*(0.000)	5.548*(0.001)	5.664*(0.001)	12.749*(0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-20 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก จากภาพที่ 4-9 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองในตารางที่ 4-21 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 และ 2 สัปดาห์ มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 8.77-8.82 เมื่อพิจารณาในการเก็บรักษาที่สัปดาห์ 12 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าความชื้นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP โดยผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์มีปริมาณความชื้นมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 9.90 ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP —▲— และ OPP/MPET/CPP —●—

ตารางที่ 4-21 ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

สิ่งทดลองที่	บรรจุภัณฑ์	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ความชื้น (ร้อยละ)	a_w
1	OPP/CPP	0	8.78± 0.04^{g}	0.44± 0.02^{h}
2	OPP/CPP	2	8.77 ± 0.06^{g}	0.44±0.00^{h}
3	OPP/CPP	4	9.07±0.03^{e}	0.46±0.01^{f}
4	OPP/CPP	6	9.27± 0.03^{d}	0.51±0.01^{e}
5	OPP/CPP	8	9.28± 0.05^{d}	0.51±0.00^{de}
6	OPP/CPP	10	9.57± 0.05^{b}	0.55±0.02^{c}
7	OPP/CPP	12	9.90± 0.03^{a}	0.63±0.00^{a}
8	OPP/MPET/CPP	0	8.82± 0.03^{g}	0.44±0.01^{h}
9	OPP/MPET/CPP	2	8.81± 0.02^{g}	0.44±0.00^{h}
10	OPP/MPET/CPP	4	8.91± 0.04^{f}	0.45±0.01^{g}
11	OPP/MPET/CPP	6	9.05± 0.03^{e}	0.46±0.00^{fg}
12	OPP/MPET/CPP	8	9.11± 0.04^{e}	0.46±0.00^{f}
13	OPP/MPET/CPP	10	9.23± 0.03^{d}	0.52±0.0^{d}
14	OPP/MPET/CPP	12	9.42± 0.03^{c}	0.56±0.01^{b}

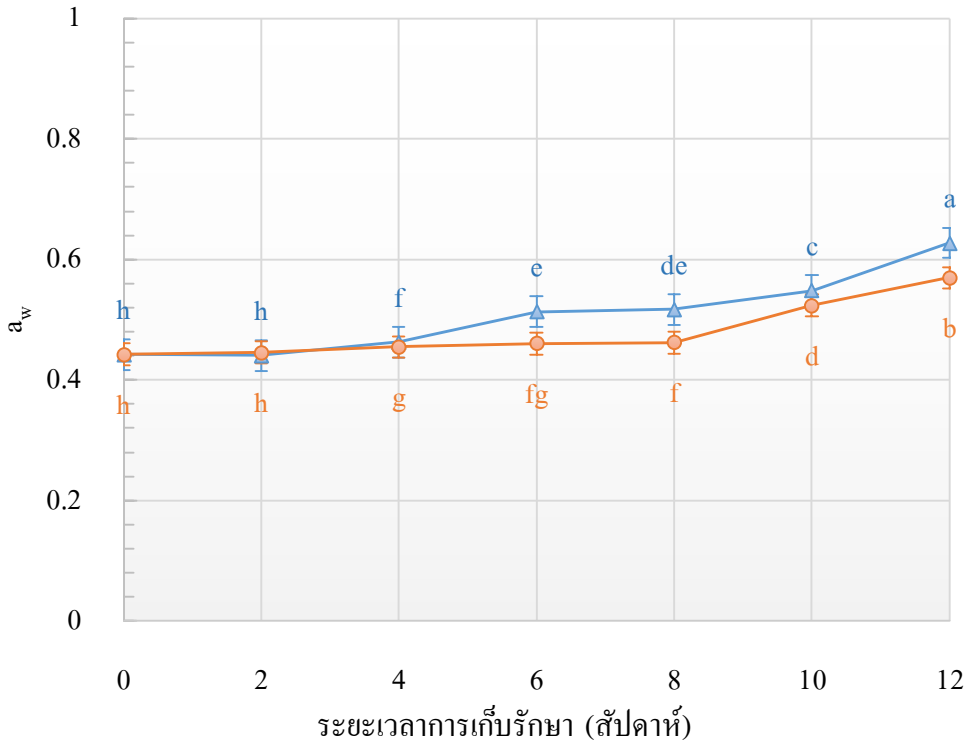
$^{a,b,\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่า a_w

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-20 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก และจากภาพที่ 4-10 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จากตารางที่ 4-21 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 และ 2 สัปดาห์ มีค่า a_w ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.44 ไม่แตกต่างกันโดยหลังจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 4 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน

ถุงพลาสติก OPP/CPP มีค่า a_w สูงกว่าที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP และที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP สัปดาห์มีค่า a_w มากที่สุด เท่ากับ 0.63 ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w และระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และOPP/MPET/CPP

4.4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก

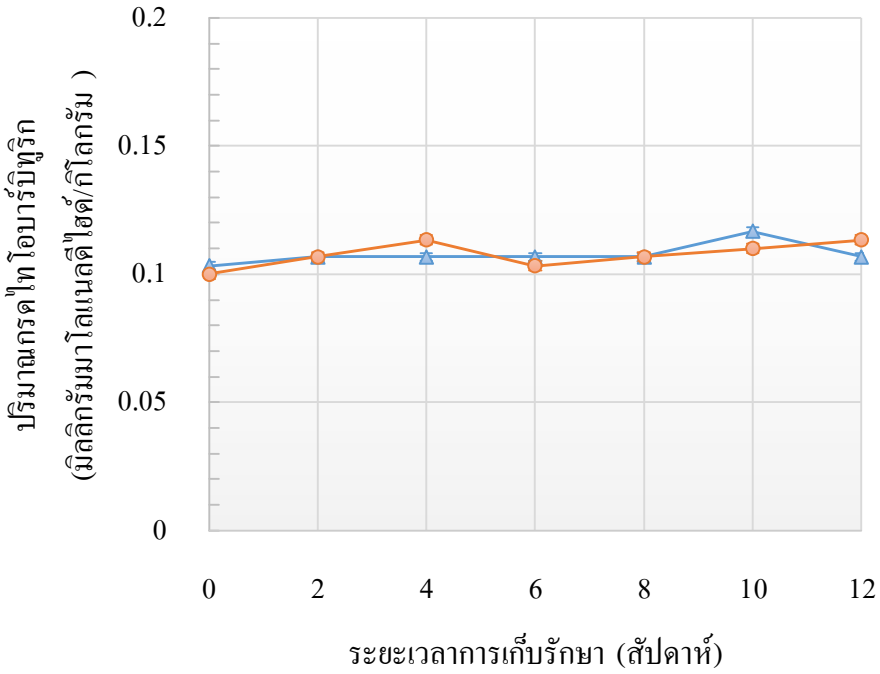
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-21 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก ($p\geq0.05$) ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักทีละปัจจัยพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีต่อปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกโดยปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-12 สัปดาห์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.10-0.11 มิลลิกรัมมาโลแนลดีไฮด์/กิโลกรัม (ตารางที่ 4-22 และภาพที่ 4-11)

ตารางที่ 4-22 ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

สิ่งทดลองที่	บรรจุภัณฑ์	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก[ns] (มิลลิกรัมมาโลแนลดีไฮด์/กิโลกรัม)
1	OPP/CPP	0	0.10±0.02
2	OPP/CPP	2	0.11±0.02
3	OPP/CPP	4	0.11±0.02
4	OPP/CPP	6	0.11±0.02
5	OPP/CPP	8	0.11±0.01
6	OPP/CPP	10	0.12±0.01
7	OPP/CPP	12	0.11±0.02
8	OPP/MPET/CPP	0	0.10±0.01
9	OPP/MPET/CPP	2	0.10±0.02
10	OPP/MPET/CPP	4	0.11±0.01
11	OPP/MPET/CPP	6	0.11±0.02
12	OPP/MPET/CPP	8	0.10±0.02
13	OPP/MPET/CPP	10	0.11±0.02
14	OPP/MPET/CPP	12	0.11±0.02

[ns] หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$

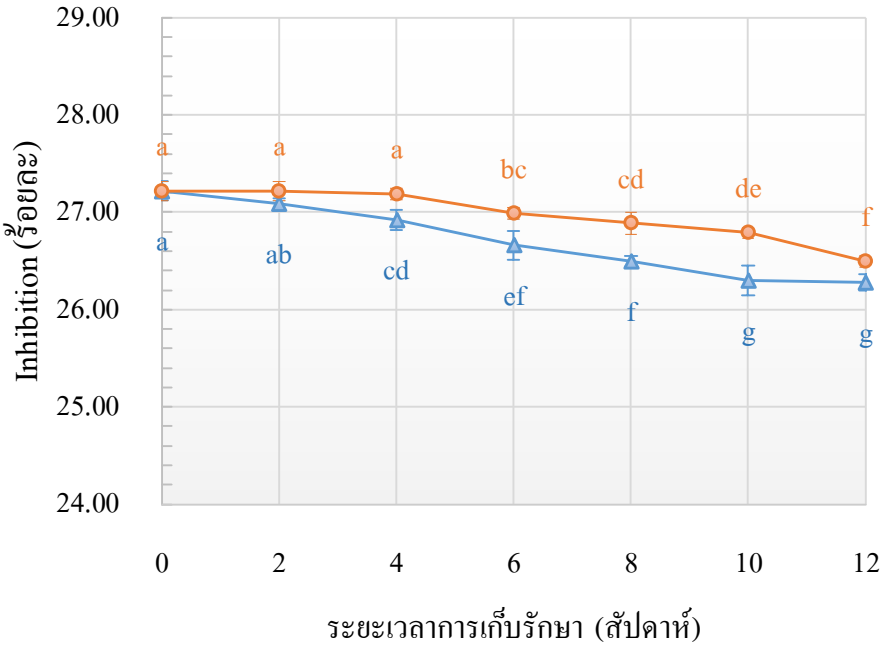


ภาพที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกและระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และOPP/MPET/CPP

4.4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ดังตารางที่ 4-20 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ($p<0.05$) จากภาพที่ 4-12 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีแนวโน้มลดลงมากกว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP จากตารางที่ 2-23 ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษาที่ 0 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้ง 2 ชนิดมีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับร้อยละ 27.22 ซึ่งไม่แตกต่างกับระยะเวลาการเก็บรักษา 2 และ 4 สัปดาห์ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ เริ่มมีค่า

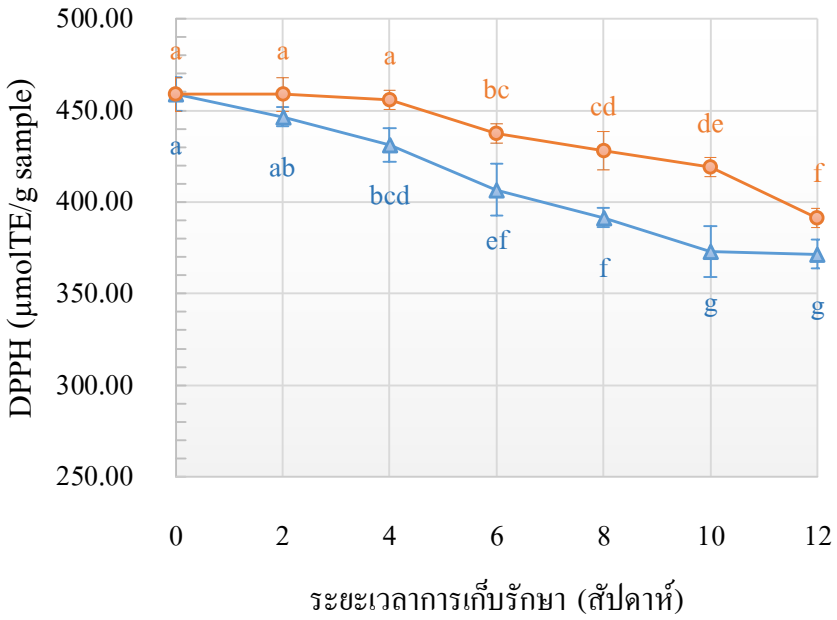
เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระต่ำกว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 และ 2 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลา 10 และ 12 สัปดาห์นั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP —▲— และ OPP/MPET/CPP —●—

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ดังตารางที่ 4-20 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ($p<0.05$) จากภาพที่ 4-13 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง จากตารางที่ 2-23 พบว่าระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษาที่ 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้ง 2 ชนิดมีค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

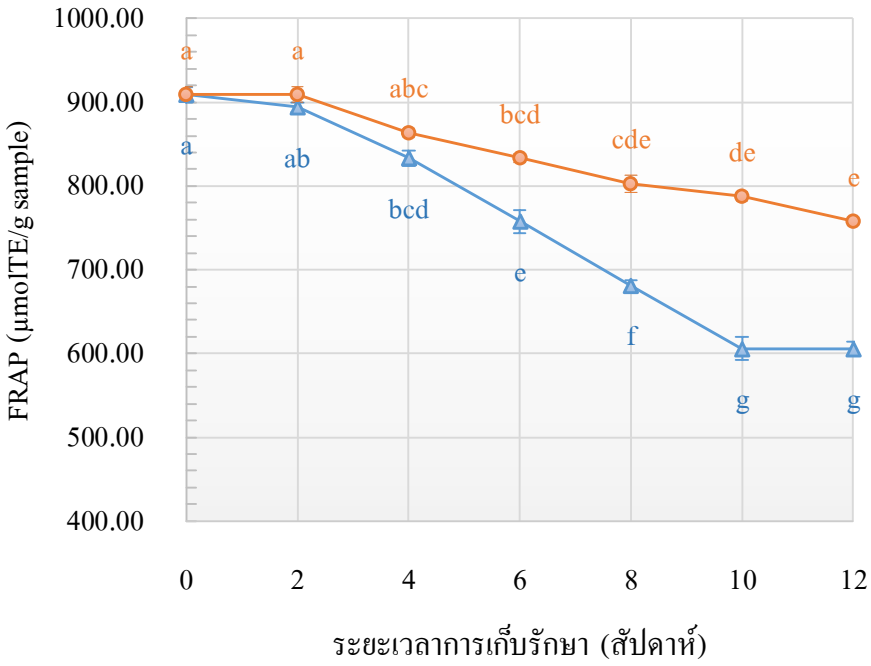
เท่ากับ 458.72 µmolTE/g sample ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกับค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2 และ 4 สัปดาห์ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ มีค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 458.72 µmolTE/g sample ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่แตกต่างกับที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ($p \geq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดOPP/CPP และ OPP/MPET/CPP

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ดังตารางที่ 4-20 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ($p<0.05$) จากภาพที่ 4-14 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีแนวโน้มลดลงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP จากตารางที่ 4-23 พบว่าที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการ

เก็บรักษา 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้ง 2 ชนิดมีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 909.09 µmolTE/g sample ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่แตกต่างกับค่าที่วิเคราะห์ได้ระยะเวลาการจัดเก็บ 2 และ 4 สัปดาห์ ($p \geq 0.05$) ในขณะระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 909.09 µmolTE/g sample ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าลดลงจนมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่ 0 สัปดาห์ เมื่อเก็บตัวอย่างไว้เพียง 4 สัปดาห์ แต่ค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกับค่าที่ระยะเวลาในการจัดเก็บที่ 2 สัปดาห์ ($p \geq 0.05$) ซึ่งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 12 สัปดาห์นั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระและระยะวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP

ตารางที่ 4-23 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

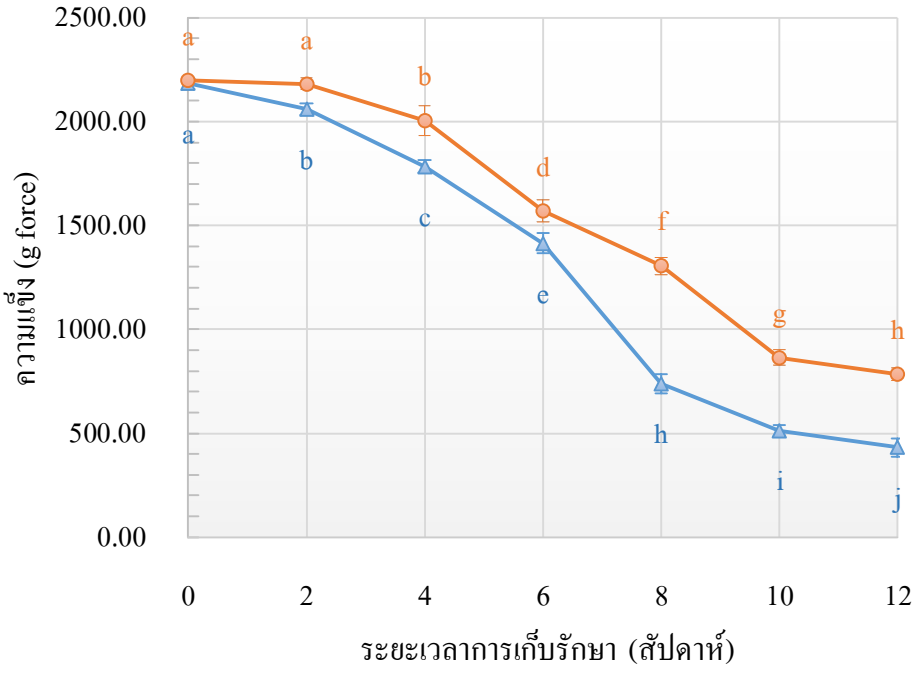
สิ่งทดลองที่	บรรจุภัณฑ์	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	Inhibition (ร้อยละ)	DPPH (µmolTE/g sample)	FRAP (µmolTE/g sample)
1	OPP/CPP	0	27.22± 0.10^{a}	458.72± 9.18^{a}	909.09±45.46^{a}
2	OPP/CPP	2	27.09± 0.06^{ab}	446.48± 5.29^{ab}	893.93±52.49^{ab}
3	OPP/CPP	4	26.92±0.10^{cd}	431.19±9.18^{bcd}	833.33±26.24^{bcd}
4	OPP/CPP	6	26.66± 0.15^{ef}	406.73±14.02^{ef}	757.58±26.24^{e}
5	OPP/CPP	8	26.50± 0.05^{f}	391.44±5.30^{f}	681.82±45.45^{f}
6	OPP/CPP	10	26.30± 0.15^{g}	373.09±14.01^{g}	606.06±26.24^{g}
7	OPP/CPP	12	26.28± 0.09^{g}	371.56±7.94^{g}	606.06±26.24^{g}
8	OPP/MPET/CPP	0	27.22 ± 0.05^{a}	458.72±9.10^{a}	909.10±45.46^{a}
9	OPP/MPET/CPP	2	27.22± 0.10^{a}	458.72±9.18^{a}	909.10±10.10^{a}
10	OPP/MPET/CPP	4	27.19± 0.05^{a}	455.66±5.29^{a}	863.64±45.45^{abc}
11	OPP/MPET/CPP	6	26.99± 0.06^{bc}	437.31±5.30^{bc}	833.33±25.12^{bcd}
12	OPP/MPET/CPP	8	26.89± 0.06^{cd}	428.14±5.29^{cd}	803.03±26.20^{cde}
13	OPP/MPET/CPP	10	26.79± 0.05^{de}	418.96±5.30^{de}	787.87±26.15^{de}
14	OPP/MPET/CPP	12	26.50± 0.06^{f}	391.44±5.29^{f}	757.58±24.12^{e}

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

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

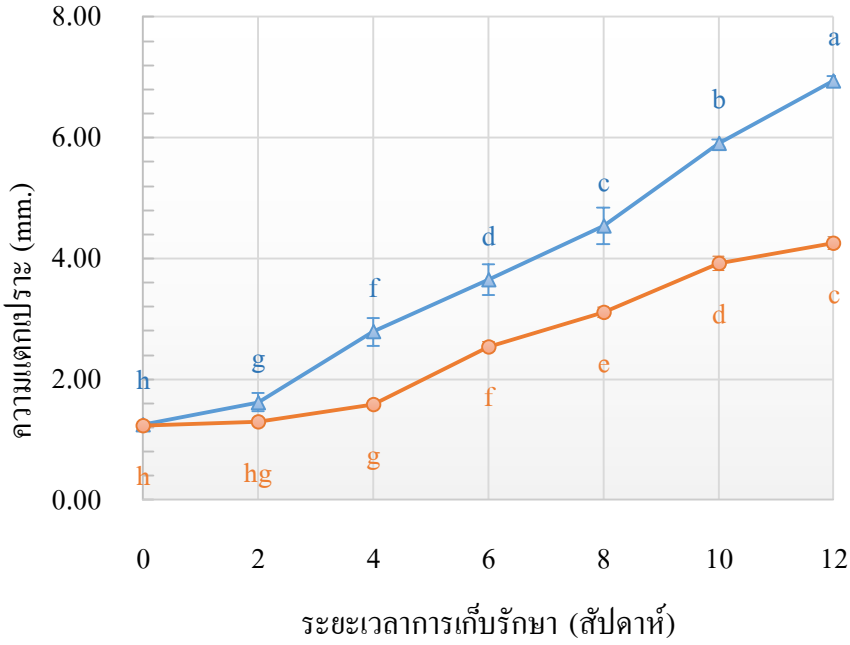
4.4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็ง ดังตารางที่ 4-20 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าความแข็ง ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก ($p<0.05$) ซึ่งจากภาพที่ 4-15 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีแนวโน้มลดลงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP จากตารางที่ 4-24 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีค่าความแข็งมากที่สุด เท่ากับ 2182.07 เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ มีค่าความแข็งมากที่สุด เท่ากับ 2180.46 g force แต่ค่าความแข็งที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับค่าความแข็งที่ระยะเวลาเก็บ 2 สัปดาห์ ในขณะที่ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์มีค่าแตกต่างกับที่ระยะเวลา 0 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์นั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าความแข็งสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและระยะวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/CPP และOPP/MPET/CPP

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกเปราะ ดังตารางที่ 4-20 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าความแตกเปราะ (ค่าความแตกเประ หรือ fracturability คือค่าระยะทางที่กดลงไปถึงจุดที่ทำให้ตัวอย่างแตก โดยที่ถ้าตัวอย่างแตกที่ระยะสั้น หมายถึงตัวอย่างมีความกรอบสูง) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก ($p<0.05$) จากภาพที่ 4-16 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติก OPP/CPP มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP จากตารางที่ 4-24 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งสองชนิด มีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นพบว่า ผลิตภัณฑ์บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่สัปดาห์ที่ 2 มีค่าความแตกเปราะไม่แตกต่างกับที่ระยะเวลาจัดเก็บ 0 สัปดาห์ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่สัปดาห์ที่ 2 มีค่าความแตกเปราะมากกว่าที่ระยะเวลาจัดเก็บ 0 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง ซึ่งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 12 สัปดาห์นั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีค่าความแตกเปราะมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกเปราะระยะวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดOPP/CPP และOPP/MPET/CPP

ตารางที่ 4-24 ค่าความแข็ง และความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

สิ่งทดลองที่	บรรจุภัณฑ์	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ความแข็ง (gf.)	ความแตกเปราะ (mm.)
1	OPP/CPP	0	2182.07±27.47^{a}	1.25±0.04^{h}
2	OPP/CPP	2	2059.05±27.30^{b}	1.62±0.15^{g}
3	OPP/CPP	4	1549.54±86.33^{c}	2.78±0.22^{f}
4	OPP/CPP	6	1580.61±104.50^{e}	3.65±0.46^{d}
5	OPP/CPP	8	739.85±46.65^{h}	4.54±0.40^{c}
6	OPP/CPP	10	512.91±25.47^{i}	5.91±0.06^{b}
7	OPP/CPP	12	432.35±43.27^{j}	6.95±0.80^{a}
8	OPP/MPET/CPP	0	2180.46±27.38^{a}	1.24±0.02^{h}
9	OPP/MPET/CPP	2	2199.30±12.15^{a}	1.29±0.40^{hg}
10	OPP/MPET/CPP	4	2004.05±71.73^{b}	1.59±0.02^{g}
11	OPP/MPET/CPP	6	1569.21±52.75^{d}	2.54±0.08^{f}
12	OPP/MPET/CPP	8	1305.76±41.63^{f}	3.11±0.09^{e}
13	OPP/MPET/CPP	10	864.70±35.84^{g}	3.92±0.12^{d}
14	OPP/MPET/CPP	12	783.80±31.49^{h}	4.25±0.10^{c}

$^{a,b,\cdots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4.6 ผลการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลิทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ รา ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-25 จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 0-12 สัปดาห์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $< 1.0x10^{1}$ - $2.0x10^{1}$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ ปริมาณยีสต์ รา อยู่ในช่วง $< 1.0x10^{1}$ - $5.0x10^{1}$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ตารางที่ 4-25 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ ราของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

สิ่งทดลองที่	บรรจุภัณฑ์	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด[ns] (โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 กรัม)	ปริมาณยีสต์ รา[ns] (โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 กรัม)
1	OPP/CPP	0	$< 1.0x10^1$	$< 1.0x10^1$
2	OPP/CPP	2	$1.0x10^1$	$1.0x10^1$
3	OPP/CPP	4	$1.5x10^1$	$5.0x10^0$
4	OPP/CPP	6	$1.0x10^1$	$1.0x10^1$
5	OPP/CPP	8	$1.5x10^1$	$1.0x10^1$
6	OPP/CPP	10	$2.0x10^1$	$1.5x10^1$
7	OPP/CPP	12	$1.5x10^1$	$1.0x10^1$
8	OPP/MPET/CPP	0	$< 1.0x10^1$	$< 1.0x10^1$
9	OPP/MPET/CPP	2	$1.0x10^1$	$5.0x10^0$
10	OPP/MPET/CPP	4	$2.0x10^1$	$< 1.0x10^1$
11	OPP/MPET/CPP	6	$1.0x10^1$	$1.0x10^1$
12	OPP/MPET/CPP	8	$1.5x10^1$	$1.0x10^1$
13	OPP/MPET/CPP	10	$1.5x10^1$	$1.5x10^1$
14	OPP/MPET/CPP	12	$1.0x10^1$	$1.5x10^1$

[ns] หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

4.4.7 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์ตวามแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ตารางที่ 4-26 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่น และชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส

ตารางที่ 4-26 ค่า F(p) ของผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)				
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
บรรจุภัณฑ์	1.847(0.175)	0.681(0.410)	10.973*(0.001)	362.089*(0.000)	305.785*(0.000)
เวลาการเก็บ	1.379(0.222)	9.854*(0.000)	8.084*(0.000)	325.694*(0.000)	187.864*(0.000)
บรรจุภัณฑ์ x เวลาการเก็บ	0.422(0.864)	0.097(0.997)	0.502(0.807)	23.738*(0.000)	10.125*(0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-27 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

สิ่งทดลองที่	บรรจุภัณฑ์	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่น^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	OPP/CPP	0	6.40±0.72	6.53±0.63	6.43±0.63	6.97±0.62^{b}	6.73±0.64^{bc}
2	OPP/CPP	2	6.40±0.72	6.50±0.63	6.47±0.63	6.50±0.51^{c}	6.50±0.63^{cd}
3	OPP/CPP	4	6.30±0.75	6.57±0.60	6.30±0.60	5.60±0.62^{d}	5.80±0.61^{e}
4	OPP/CPP	6	6.37±0.77	6.47±0.58	6.27±0.58	4.93±0.74^{e}	5.07±0.52^{fg}
5	OPP/CPP	8	6.47±0.78	6.40±0.57	6.23±0.57	2.90±0.98^{g}	4.60±0.81^{h}
6	OPP/CPP	10	6.33±0.71	6.30±0.53	6.17±0.53	1.80±0.93^{h}	3.80±0.89^{i}
7	OPP/CPP	12	6.27±0.79	6.27±0.25	5.93±0.25	1.50±0.78^{h}	3.23±0.73^{j}
8	OPP/MPET/CPP	0	6.47±0.93	6.67±0.57	6.50±0.57	7.40±0.73^{a}	7.43±0.68^{a}
9	OPP/MPET/CPP	2	6.37±0.81	6.63±0.57	6.50±0.57	6.90±0.66^{b}	6.87±0.63^{b}
10	OPP/MPET/CPP	4	6.43±0.82	6.63±0.56	6.50±0.57	6.40±0.72^{c}	6.43±0.57^{cd}
11	OPP/MPET/CPP	6	6.50±0.82	6.67±0.57	6.43±0.56	5.97±0.56^{d}	6.20±0.61^{d}
12	OPP/MPET/CPP	8	6.47±0.78	6.67±0.56	6.43±0.56	5.13±0.86^{e}	5.80±0.48^{e}
13	OPP/MPET/CPP	10	6.33±0.76	6.57±0.56	6.43±0.57	4.30±1.05^{f}	5.37±0.56^{f}
14	OPP/MPET/CPP	12	6.33±0.80	6.47±0.32	6.03±0.32	3.97±1.07^{f}	4.97±0.89^{g}

$^{a,b,\cdots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ดังตารางที่ 4-26) เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ($p \geq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ (ดังตารางที่ 4-27) ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏมีค่าอยู่ระหว่าง 6.27-6.50 คะแนน

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนความชอบด้านกลิ่น เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-26 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่น เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่น ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-28 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นระยะ 0-10 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) มีค่าระหว่าง 6.43-6.60 ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ที่ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นเท่ากับ 6.37 แต่ไม่แตกต่างกับที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 สัปดาห์

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ดังตารางที่ 4-26 เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-29 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) รวมทั้งเมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักด้านระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ($p<0.05$) ซึ่งจากตารางที่ 4-30 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสลดลง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-10 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสระหว่าง 6.30-6.48 คะแนน ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสเท่ากับ 5.98 คะแนน และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP เล็กน้อย และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 4-28 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	บรรจุภัณฑ์	คะแนนความชอบด้านกลิ่น	
0	OPP/CPP	6.53±0.63	6.60±0.59[a]
	OPP/MPET/CPP	6.67±0.57	
2	OPP/CPP	6.50±0.63	6.57±0.56[a]
	OPP/MPET/CPP	6.63±0.57	
4	OPP/CPP	6.57±0.60	6.60±0.56[a]
	OPP/MPET/CPP	6.63±0.56	
6	OPP/CPP	6.47±0.58	6.57±0.56[a]
	OPP/MPET/CPP	6.67±0.57	
8	OPP/CPP	6.40±0.57	6.53±0.57[a]
	OPP/MPET/CPP	6.67±0.56	
10	OPP/CPP	6.30±0.53	6.43±0.56[ab]
	OPP/MPET/CPP	6.57±0.56	
12	OPP/CPP	6.27±0.25	6.37±0.55[b]
	OPP/MPET/CPP	6.47±0.32	

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

ตารางที่ 4-29 คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน

บรรจุภัณฑ์	คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส
OPP/CPP	6.26±0.56[b]
OPP/MPET/CPP	6.40±0.57[a]

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

ตารางที่ 4-30 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส
0	6.47±0.60[a]
2	6.48±0.59[a]
4	6.40±0.59[a]
6	6.35±0.58[a]
8	6.30±0.57[a]
10	6.30±0.56[a]
12	5.98±0.29[b]

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-26 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-27 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด เท่ากับ 7.40 คะแนน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง และผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 และ 12 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.50-1.80 คะแนน

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนความชอบโดยรวม เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-26 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-27 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 7.43 คะแนน และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง และผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.23 คะแนน อย่างไรก็ตาม

พบว่า เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมที่มากกว่า 6 คะแนน พบว่าถุงจากฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP มีระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง 2 สัปดาห์ ในขณะที่ถุงจากฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง 6 สัปดาห์

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

จากการเตรียมน้ำหมึกจากหมึกกล้วยในรูปผง โดยใช้วิธีการทำแห้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปบดให้ละเอียด ได้น้ำหมึกผงที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำ ดังภาพที่ 4-1 พบว่าน้ำหมึกผงที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำและน้ำหมึกผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือก มีลักษณะที่เบาและฟูกว่าน้ำหมึกผงที่ได้จากการทำแห้งอีกสองวิธี ฤทธิไกร งามชุ่ม (2547) ได้รายงานว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีทำแห้งในสภาวะสุญญาญากาศ มีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัตถุดิบ จึงทำให้ผิวสัมผัสด้านนอกของวัตถุดิบมีความเป็นรูพรุนสูง

5.1.1 ผลของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้แสดงดังตารางที่ 4-1 จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ทำให้ความชื้นของน้ำหมึกผงแตกต่างกัน ($p<0.05$) พบว่าความชื้นหลังการทำแห้งของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความชื้นต่ำที่สุด (ร้อยละ 7.17) รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาดและการทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ ตามลำดับ (ร้อยละ 9.49 และ 10.82 ตามลำดับ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมึกผงจากการทำแห้งทั้งสามวิธีมีความชื้นสุดท้ายที่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากการทำแห้งแต่ละวิธีมีหลักการทำแห้งที่แตกต่างกัน ซึ่งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีการ

ทำแห้งที่สามารถลดปริมาณความชื้นของน้ำหมึกผงได้มากที่สุด เนื่องจาก การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แป็นการทำแห้งภายใต้อุณหภูมิและความดันต่ำด้วยการแช่เยือกแข็ง โดยจะเกิดขึ้นด้วยกันสองขั้นตอน ในขั้นแรกจะเปลี่ยนน้ำอิสระ (free water) เป็นผลึกน้ำแข็ง แล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิดเป็นไอ จากนั้นจะกำจัดน้ำที่เหลืออยู่ในโครงสร้างที่จับกันสารอื่น ๆ อยู่ (bound water) จึงสามารถดึงน้ำออกจากตัวอย่างได้มากกว่ากระบวนการทำแห้งวิธีอื่น (ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล, 2547) ส่วนการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด เป็นการอบแห้งที่อาศัยลมร้อนจากแหล่งความร้อน อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ มีระบบท่อเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ แต่ควบคุมดูแลยากและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ (วิไล รังสาดทอง, 2546) นอกจากนั้นการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด เป็นการทำแห้งในสภาวะความดันบรรยากาศ ทำให้น้ำระเหยออกจากตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงกว่าการทำแห้งอีกสองวิธี จึงทำให้ความชื้นในชิ้นผลิตภัณฑ์ระเหยออกไม่หมด ส่งผลให้ความชื้นของน้ำหมึกผงมีค่าสูง การทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นทำแห้งอาหารภายใต้สภาวะความดันอากาศต่ำกว่าความดันสุญญากาศ ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง หลักการของการถ่ายเทมวลของน้ำออกจากวัตถุดิบโดยความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกวัตถุดิบ โดยมีหลักการคือ ภายในห้องอบแห้งจะมีการลดความดันให้ต่ำลงกว่าความดันภายในของวัตถุดิบส่งผลทำให้ปริมาณน้ำในวัตถุดิบเคลื่อนที่ออกมาได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีการใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ๆ สารอาหารรวมทั้ง กลิ่นรสของวัตถุดิบยังคงถูกเก็บรักษาไว้ได้ (ไพบูลย์ ธรรมรัตนวาสิก, 2532) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะพบว่าน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบสุญญากาศนั้นมีค่าความชื้นสุดท้ายมากที่สุด อาจเนื่องมาจากในระหว่างการดึงน้ำออกภายใต้สุญญากาศจะทำให้น้ำระเหยเร็วมาก ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้งเกิดการแข็งและหดตัว (case hardening) ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ผิวหน้าแต่ภายในยังแฉะอยู่ (ณัฏยา คนซื่อ, 2545) นอกจากนั้นการทำแห้งด้วยวิธีนี้ไม่มีการหมุนเวียนของความชื้นออกไปภายนอกตู้เหมือนกับวิธีการใช้ตู้อบลมร้อน จึงส่งให้น้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบสุญญากาศนั้นมีค่าความชื้นสุดท้ายมากกว่าวิธีทำแห้งอีกสองชนิด แต่อย่างไรก็ตามความชื้นของน้ำหมึกหลังการทำแห้งทั้ง 3 วิธีมีนั้นมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 9±2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้กำหนดไว้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะและองค์ประกอบคล้ายคลึงกับน้ำหมึกผง ตัวอย่างเช่น ปลาร้าผง ให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) ผงปรุงรสอาหาร ให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547) เป็นต้น

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผง พบว่ามีปริมาณ โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธีนั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในด้านปริมาณโปรตีนของน้ำหมึกผง พบว่าน้ำหมึกผงจากการทำแห้งด้วย

วิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้ Vega-Gálvez et al. (2011) กล่าวว่าความร้อนจากการทำแห้งมีผลต่อปริมาณโปรตีน เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศและแบบลมร้อน ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งอาจทำให้สารระเหยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบระเหยออกไปจากตัวอย่างได้เมื่อได้รับความร้อนจากการทำแห้ง วิธีวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่ผู้วิจัยเลือกมาวิเคราะห์นั้นคือวิธี Kjeldahl method ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โปรตีนในอาหาร โดยคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง จากปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้จากน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี มีค่าเท่ากับร้อยละ 62.38-64.09 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของเมลานิน ที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารให้สีในน้ำหมึกนั้นมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จึงอาจเป็นสาเหตุให้เมื่อนำน้ำหมึกผงมาทำการวิเคราะห์จึงพบโปรตีนในปริมาณที่สูง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่า ปริมาณไขมันของน้ำหมึกผงที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธีนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีปริมาณไขมันน้อยมาก ประมาณร้อยละ 0.09 น้ำหนักฐานแห้ง และแสดงให้เห็นว่าน้ำหมึกผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 1) ซึ่งโดยปกติการทำแห้งอาจส่งผลให้ปริมาณไขมันในน้ำหมึกลดลงได้ เนื่องมาจากความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งและการสัมผัสกับอากาศร้อนในระหว่างการอบทำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันในน้ำหมึกทำให้ไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลงไป จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายต่าง ๆ เช่น อีเทอร์ และเพอร์ออกไซด์ (วิไล รังสาดทอง, 2546) ซึ่งสารบางชนิดสามารถระเหยไปได้ แต่อย่างไรก็ตามน้ำหมึกเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันต่ำอยู่แล้ว กระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกันจึงไม่มีผลต่อปริมาณไขมันของน้ำหมึกที่ได้

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า พบว่าน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด และไม่แตกต่างกับน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ ($p\geq0.05$) ในขณะที่ปริมาณเถ้าของน้ำหมึกที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ กับน้ำหมึกที่ทำแห้งด้วยลมร้อนมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ทั้งนี้ขั้นตอนการเผาตัวอย่างในระหว่างการวิเคราะห์ปริมาณเถ้านั้น เป็นการเผาเอาสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในตัวอย่างออกไป แต่ยังคงเหลือสารอนินทรีย์หรือเถ้าอยู่หลังจากการเผา อาจกล่าวได้ว่าแร่ธาตุไม่สูญเสียด้วยความร้อนแม้จะผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (70 องศาเซลเซียส) เช่นในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และการอบแห้งแบบสุญญากาศก็ตาม จึงส่งผลให้ปริมาณเถ้าของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งทั้งสามวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้น้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธีมีปริมาณเถ้าระหว่าง 0.04-10.79 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith (2015) ที่ได้รายงานว่าปริมาณเถ้าในน้ำหมึกผง คือส่วนของสารอนินทรีย์หรือแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำหมึก โดยมีปริมาณร้อยละ 10 น้ำหนักฐานแห้ง

จากการคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตของน้ำหมึกผงจากการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยน้ำหมึกที่ทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบลมร้อนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกที่ทำแห้งด้วยสุญญากาศ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ ซึ่งน้ำหมึกที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด จึงส่งผลให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด

การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้นั้น ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 วิธี วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การวิเคราะห์ความสามารถการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) จากผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้ง 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 4-2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•) เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•, Diphenyl-Picryhydrazyl Radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วง เมื่อ DPPH• ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ (สารที่ให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลงจนเป็นสีเหลือง ซึ่งสามารถหาค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556) จากผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้ง 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่า น้ำหมึกผงที่เตรียมได้นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ ร้อยละ 87.23-98.89 ซึ่งถือน้ำหมึกผงมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระอยู่สูง จากการรายงานของ Vate and Benjakul (2013) กล่าวว่าในน้ำหมึกมีกรดอะมิโน L-dopa และ dopamine ที่ความเข้มข้น 1.15 และ 0.19 mM ตามลำดับ ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของกรดอะมิโนสองชนิดนี้สามารถให้อะตอมของไฮโดรเจนให้แก่อนุมูลอิสระได้ จึงทำให้น้ำหมึกผงที่เตรียมได้มีความสามารถในต้านอนุมูลิสระ DPPH ในส่วนของการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) วิธีการนี้อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ ปริมาณของ $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ ที่เกิดขึ้นสามารถประมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556) จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยน้ำหมึกผงที่เตรียมได้นั้นมีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเท่ากับร้อยละ 3081.81-3621.21 μMTE/g sample ซึ่งถือน้ำหมึกผงมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระอยู่สูง จากการรายงานของ Vate and Benjakul (2013) กล่าวว่าน้ำหมึกผงมี

ความสามารถเป็นตัวรีดิวซ์ โดยให้อิเล็กตรอนให้แก่สารประกอบให้เกิดความเสถียร จึงเป็นผลให้น้ำหมึกผงมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกได้

จากผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้ง 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่า น้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การวิเคราะห์ความสามารถการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากผลการทดลองเห็นได้ว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นเป็นการทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ และไม่มีการใช้ความร้อน ซึ่งเป็นการลดการเกิดออกซิเดชัน จึงยังสามารถรักษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่า (Demarchi et al., 2004) ในขณะที่น้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศ มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระรองลงมา อาจเป็นผลมาจากการทำแห้งแบบสุญญากาศนั้นเป็นการทำแห้งที่ตัวอย่างไม่สัมผัสกับออกซิเจนในการอากาศ จึงลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ แต่เป็นการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง คือ 70 องศาเซลเซียส และจากผลการทดลองพบว่าน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบลมร้อนนั้นมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด อาจเป็นผลมาจากการทำแห้งแบบลมร้อนนั้นเป็นการทำแห้งที่มีผิวของตัวอย่างมีการสัมผัสกับออกซิเจนในระหว่างการทำแห้ง และมีการใช้อุณหภูมิสูง (70 องศาเซลเซียส) จึงเป็นผลให้น้ำหมึกผงที่ได้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระต่ำ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลวิจัยของ Samoticha , Wojdylo, and Lech (2016) ที่ทำการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของโช๊คเบอร์รี่ (Chokeberry) พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสารประกอบทางชีวภาพและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบสุญญากาศ การทำแห้งแบบลมร้อน การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ และการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆร่วมกัน และสอดคล้องกับศุทธินี ลีลาเหมรัตน์ และศศิธร ตรงจิตภักดี (2554) ได้ศึกษาผลของกรรมวิธีการทำแห้งต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphynyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ในกากลูกหม่อน พบว่าวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะยังคงรักษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Michalczyk, Macura, and Matuszak (2009) ที่ทำการศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาต่อคุณภาพและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสสระของเบอรรี่ ซึ่งพบว่าตัวอย่างเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยังคงมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติอื่น ๆ มากกว่าของตัวอย่างเบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งอาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งขณะที่อาหารมีอุณภูมิต่ำ จึงสามารถลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อน

ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง คืนตัวได้ดี อีกทั้งยังรักษาคุณภาพอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส คุณค่าทางอาหารของอาหารได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบอื่น เช่น การทำแห้งด้วยลมร้อน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

5.1.2 ผลของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

นำน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด ตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L*, a*, b*) ความสามารถในการละลาย และความหนาแน่น ได้ผลดังตารางที่ 4-3

5.1.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผง แสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่ากระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผง 3 วิธี มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำหมึกผงที่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าน้ำหมึกที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างต่ำที่สุด แสดงถึงตัวอย่างมีความเป็นสีดำมากที่สุด ความเป็นสีดำของตัวอย่างน้ำหมึกผงอาจเกิดมาจากรงควัตถุสีดำที่เป็นเอกลักษณ์ของหมึกซึ่งรงควัตถุสีดำนี้ คือ เมลานิน (Vate & Benjakul, 2013) นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งในสภาวะสุญญาญากาศ มีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ จึงส่งผลให้ผิวของวัสดุที่อบแห้งมีความเป็นรูพรุนสูง (ฤทธิไกร งามชุ่ม, 2547) ทำให้ได้น้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีขนาดอนุภาคที่เล็ก เมื่อนำมาบรรจุลงในถาดวัดสี อาจทำให้อนุภาคของน้ำหมึกผงรวมตัวกันแน่นจึงมีค่าความสว่าง (L*) ต่ำ และในส่วนของค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันทั้ง 3 กระบวนการมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ส่วนโดยน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบเยือกแข็งมีค่า b* มากที่สุด และน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบลมร้อนมีค่า b* น้อยที่สุด แต่น้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและลมร้อนมีค่า b* ไม่แตกต่างกับน้ำหมึกผงที่ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำหมึกผงทั้ง 3 วิธีมีค่าเป็นลบ หมายถึงน้ำหมึกผงมีแนวโน้มไปทางสีน้ำเงิน อาจเกิดจากรงควัตถุสีดำ หรือเมลานินที่เป็นเอกลักษณ์ของน้ำหมึก (Vate & Benjakul, 2013) จึงอาจส่งผลให้น้ำหมึกผงที่ได้มีความเป็นสีน้ำเงินมากกว่าสีเหลือง

5.1.2.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายและความหนาแน่นของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

จากผลการทดลองพบว่าน้ำหมึกผงที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธี (ตารางที่ 4-3) มีความสามารถในการละลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยความสามารถในการละลายหมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณตัวถูกละลายต่อปริมาณตัวทำละลายในสารละลายอิ่มตัว (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าความสามารถในการของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 11.61 14.83 และ 15.12 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่น้ำหมึกผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการทำแห้งแบบสุญญากาศ โดยน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบลมร้อนมีค่าการละลายต่ำที่สุด แสดงถึงน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การทำแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งในสภาวะสุญญาญากาศ ถ้าของเหลวที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศต่ำมาก ๆ อาจจะทำให้ผิวของวัสดุที่อบแห้งมีความเป็นรูพรุนสูงเนื่องจากมีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ (ฤทธิไกร งามชุ่ม, 2547) ส่งผลให้น้ำหมึกหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการทำแห้งแบบสุญญากาศมีความสามารถในการละลายสูงกว่าน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบลมร้อน

ค่าความหนาแน่นของน้ำหมึกผง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณของมวลสารต่อหน่วยปริมาตร สามารถแสดงถึงระยะห่างของอนุภาคของอาหารประเภทผง บอกถึงความโปร่งเบาของตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่มีความหนาแน่นต่ำ หมายถึงมีความโปร่งเบามากกว่าตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553) ซึ่งพบว่า ความหนาแน่นของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการทดองจะเห็นได้ว่าน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นมีความหนาแน่นต่ำที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ และทำแห้งแบบลมร้อน ตามลำดับ การที่น้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นมีค่าคงามหนาแน่นต่ำที่สุด อาจเป็นผลมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น จะทำให้โครงสร้างของตัวอย่างหลังจากการทำแห้งมีลักษณะเป็นรูพรุนเนื่องจากมีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ (Fellows, 2000) อีกทั้งยังมีโครงสร้างที่เป็นโพรงจากการระเหิดออกไปอย่างรวดเร็วของน้ำ จึงส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าต่ำที่สุด

5.1.3 ผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

นำน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด ตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มาวิเคราะห์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4-4 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์พบว่า น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี นั้นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า $1x10^{1}$ cfu/g และมีปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด น้อยกว่า 3 MPN/g ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์เทียบเคียงคือ ผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ที่มีโปรตีนสูงและแปรรูปเป็นผง เช่น ผงปรุงรสอาหาร ที่กำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^{4} cfu/g และจำนวนโคลิฟอร์มต้องน้อยกว่า 3 MPN/g (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547) แสดงให้เห็นถึงน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค ทั้งที่น้ำหมึกที่นำมาเตรียมน้ำหมึกผงนั้นเป็นผลพลอยได้ที่เหลือทิ้งจากการนำหมึกไปประกอบอาหารซึ่งอาจเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ แต่จากผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำหมึกผงที่เตรียมได้นั้นมีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำ อาจเนื่องมาจากการทำให้แห้งจนมีความชื้นต่ำร้อยละ 9.49-10.82 จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญได้ อีกทั้งอาจเนื่องมาจากน้ำหมึกมีสมบัติเป็นสารยับยั้งแบคทีเรีย (antibacterial activity) (Nair et al., 2011; Vate & Benjakul, 2013) และจากการรายงานของ Takai et al. (1992) รายงานว่าเอนไซม์ Tyrosinase ในน้ำหมึกมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งของจุลินทรีย์

5.1.4 ผลการพิจารณาเลือกกระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผง

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำหมึกผงจากวิธีการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ได้แก่ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ พบว่าน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสุดที่สุด มีปริมาณโปรตีนสูงสุด และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^{4}$ cfu/g และมีปริมาณโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 3 MPN/g เป็นไปตามตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 494/2547 ผงปรุงรสอาหาร อีกทั้งยังมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม เช่น มีสีดำตามธรรมชาติของน้ำหมึก และมีค่าการละลายสูงสุดดังนั้นจึงเลือกน้ำหมึกผงจากการทำแห้งด้วยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

5.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า

นำน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่คัดเลือกจากตอนที่ 1 มาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง โดยแปรปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 0.0 2.5 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ตามขั้นตอนที่กำหนด ได้ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพอง ดังภาพที่ 4-2 ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองที่เติมน้ำหมึกผง (ร้อยละ 2.5-10.0) มีสีดำแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ขนขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง ทั้งนี้สีดำของขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกผงได้มาจากรงควัตถุสีดำที่เป็นเอกลักษณ์ของหมึกซึ่งรงควัตถุสีดำนี้คือ เมลานิน (Vate & Benjakul, 2013)

5.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มาทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยลงในขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า ทำให้ปริมาณโปรตีนมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าที่ไม่เสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย ในตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เตรียมได้นั้นมีโปรตีนร้อยละ 62-65 น้ำหนักแห้ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่ได้มีปริมาณโปรตีนที่สูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ สุธีรา มีภักดี เพชรดา รัตนสุวรรณ์ นิสานารถ กระแสร์ชล และ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2557) ที่ได้ศึกษาการใช้เลือดปลาทูน่าผงเพื่อเสริมโปรตีนและเหล็กในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว พบว่าเมื่อเติมเลือดปลาทูน่าผงเพิ่มลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นร้อยละ 0.0 5.0 10.0 และ 15.0 ทำให้ปริมาณโปรตีนและปริมาณเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยลงในขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูล

อิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย ในตารางที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เตรียมได้นั้นมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ร้อยละ 87-98 การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH 911.44-1323.45 μMTE/g sample และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ 3081.81-3621.21 μMTE/g sample ซึ่งถือว่าน้ำหมึกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่ได้มีปริมาณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงตามไปด้วย

5.2.2 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

5.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ดังตารางที่ 4-6 พบว่า เมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้นที่ร้อยละ 0.0 2.5 7.5 และ 10.0 มีผลทำให้ค่า L* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่า L* ซึ่งเป็นค่าแสดงถึงความสว่างมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผง แสดงว่าการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงมีผลทำให้ขนมขบเคี้ยวมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากสีของน้ำหมึกผงที่เติมลงไปมีสีดำ การที่สีของขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงมีสีดำ เนื่องจากน้ำหมึกประกอบด้วย เมลานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีดำ ร้อยละ 30.8 (ชาติ ประชาชื่น, 2556) ดังนั้นเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างของขนมขบเคี้ยวลดลง และจากผลการวิเคราะห์ค่า a* (ค่าความเป็นสีแดง) พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า a* เป็นลบ คือมีความเป็นสีเขียว แต่ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงทุกระดับมีค่า a* เป็นบวก คือตัวอย่างมีความเป็นสีแดง และมีค่า a* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในด้านค่า b* แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงินเหลือง พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า b* มากกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง ($p<0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อย 0.0 2.5 7.5 และ 10.0 มีค่า b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีค่า b* น้อยกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง

5.2.3.2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวและความหนาแน่น

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่

4-7 ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองที่เติมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยร้อยละ 2.5 มีสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด เท่ากับ 3.16 รองลงมาเป็นขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง และเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 และ 10.0 มีสัดส่วนการพองตัวน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเติมน้ำหมึกผงลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวร้อยละ 2.5 ขนมขบเคี้ยวที่ได้จะมีสัดส่วนการพองตัวที่มากกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง อาจเนื่องมาจากเมื่อเติมน้ำหมึกลงในส่วนผสม อาจส่งผลให้ส่วนผสมเกิดความฝืดในระหว่างการเอกซ์ทรูชัน ส่วนผสมจึงเคลื่อนที่ได้ช้าลงเล็กน้อย ทำให้ได้รับความร้อนมากขึ้นจึงเกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่พบว่าเพิ่มปริมาณน้ำหมึกที่เติมสูงขึ้น เป็นร้อยละ5.0 7.5 และ 10.0 มีผลทำให้สัดส่วนการพองตัวลดลง อาจเนื่องมาจาก น้ำหมึกผงมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหรือโปรตีน โดย Frame (1995) รายงานว่าเมื่อมีการเติมโปรตีนลงไปในขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ระดับไม่สูงมาก เช่นร้อยละ 5.0-15.0 โปรตีนจะไปลดการพองตัวของสตาร์ชเมื่อออกจากหน้าแปลน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการพองตัวที่ลดลงเมื่อออกจากหน้าแปลน ซึ่งสอดคล้องกับ สิริมาศ อุษสาธิต และคณะ (2548) โดยการศึกษาผลของฟลาวร์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มันเทศและปลาป่นต่อคุณภาพอาหารขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่าเมื่อปริมาณปลาป่นเพิ่มขึ้นทำให้อาหารขบเคี้ยวมีอัตราการพองตัวลดลง ซึ่งเมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเมื่อปริมาณปลาป่นเพิ่มขึ้นทำให้ขนาดของรูพรุนหรือโพรงอากาศในอาหารขบเคี้ยวมีขนาดเล็กลง เนื่องจากโปรตีนในปลาป่นขัดขวางการพองตัวของแป้งในการเกิดโครงสร้างของโพรงอากาศ และยังสอดคล้องกับการทดลองของ Jean et al. (1996) ที่ศึกษาการผลิตอาหารขบเคี้ยวจากแป้งมันฝรั่งผสมเนื้อไก่โดยผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่า อาหารขบเคี้ยวที่ได้จะมีอัตราการพองตัวลดลงเมื่อปริมาณเนื้อไก่เพิ่มขึ้น

การเติมน้ำหมึกผงลงในขนมขบเคี้ยว อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวได้ เนื่องจากโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำหมึกผงที่เติมลงไปนั้น จะกระจายอยู่ภายในโครงสร้างของส่วนผสม โดยผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มาและปริมาณโปรตีนที่เติม เช่น การเติมโปรตีนสกัดถั่วเหลืองร้อยละ 1-8 ลงในผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดตจากแป้งสาลี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสัดส่วนการพองตัวมากขึ้น แต่เมื่อเติมมากขึ้นเป็นร้อยละ 10 ทำให้สัดส่วนการพองตัวลดลง (Faubion & Hoseney, 1982) นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างสตาร์ชและโปรตีน ที่มีอยู่ในน้ำหมึก โดย Obradovic, Babic, Subaric, Ackar, and Jozinovic (2014) ได้รายงานว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชและ

โปรตีน อาจส่งผลทางอ้อมต่อสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ โดยโปรตีนจะไปขัดขวางความต่อเนื่องของโครงสร้างของสตาร์ช รวมทั้งลดการขยายตัวของผนังเซลล์ของฟองอากาศทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสัดส่วนการพองตัวที่ลดลง

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย พบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงลงในขนมขบเคี้ยวมีผลทำให้ความหนาแน่นของขนมขบเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงลงไปในปริมาณร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) การเติมน้ำหมึกผงทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความหนาแน่นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง อาจเนื่องมาจากการเติมน้ำหมึกผงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเบา คล้ายโฟมมากขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าว ที่คล้ายกับลักษณะเนื้อสัมผัสของโปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) เกิดจากโครงสร้างที่ผ่านการเอกซ์ทรูชัน วัตถุดิบที่มีโปรตีนเป็นส่วนผสม มากขึ้น จึงทำให้ขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณมาก (ร้อยละ 7.5 และ 10.0)

5.2.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการละลาย และดัชนีการดูดซับน้ำ

ค่าดัชนีการละลายหรือค่าความสามารถในการละลายน้ำ แสดงถึง ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกมาจากอนุภาคของสตาร์ชในน้ำปริมาณมากเกินพอซึ่งค่านี้บ่งบอกถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดต โดยเมื่อมีค่านี้สูง แสดงถึงสตาร์ชถูกทำลายจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันมาก (Sriburi & Hill, 2000) จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการละลาย และดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่ 4-8 จากผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่าดัชนีการละลาย และดัชนีการดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการละลายน้ำ พบว่าขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีค่าการละลายน้ำสูงที่สุด โดยขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 2.5 5.0 และ 7.5 มีค่าการละลายที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การที่ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีผลทำให้ดัชนีการละลายสูงที่สุด ($p<0.05$) เนื่องจากการเติมน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้น ทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ในเอกทรูเดอร์ได้ยากขึ้น ทำให้วัตถุดิบได้รับแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้น Ding et al. (2005) ได้กล่าวว่า หากสตาร์ชได้รับแรงเฉือนที่มาก ดังนั้นหากวัตถุดิบเคลื่อนที่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ได้ช้า จะมีโอกาสทำให้สตาร์ชเกิด dextrinization โมเลกุลของสตาร์ชจะเล็กลง ทำให้สามารถละลายได้มากขึ้น นอกจากนี้ ความสามารถละลายที่มากขึ้นนั้นส่วนหนึ่งอาจมาจากน้ำหมึกผงที่เติมลงไปนั้นสามารถละลายน้ำโดยทำให้เมื่อเติมน้ำหมึกลงไปมากขึ้น น้ำหมึกจึงละลายออกมามากขึ้น

ดัชนีการดูดซับน้ำ แสดงถึงระดับการเกิดเจลาทิไนซ์เซชันของสตาร์ชโดยเป็นการวัดปริมาณอนุภาคของตัววัตถุดิบที่สามารถดูดซับน้ำเอาไว้ (โสภิดา ก่อเกิด, 2555) จากผลการวิเคราะห์พบว่า พบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผง ทำให้ดัชนีการดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง อาจเป็นผลมาจากน้ำหมึกผงมีปริมาณโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 64.09 น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4-1) โปรตีนจะไปแย่งการดูดซึมน้ำของสตาร์ช ส่งผลให้เกิดการเจลาทิไนซ์เซชันลดลง การดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยวจึงมีค่าลดลง (Faubion & Tsang, 1982) สอดคล้องกับ Normell et al. (2009) ได้ทำการศึกษาผลของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่เติมลงไปต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่นำไปผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันพบว่าเมื่อปริมาณโปรตีนจากถั่วเหลืองที่เติมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงจากร้อยละ 2.5 เป็นร้อยละ 5.0-10.0 ทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก น้ำหมึกมีปริมาณโปรตีนสูง ซึ่งโปรตีนสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าสตาร์ช ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน ขนมขบเคี้ยวดูดซับน้ำได้มากขึ้น ตามปริมาณน้ำหมึกผงที่เติมลงไป อย่างไรก็ตามดัชนีการดูดซับน้ำของของขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0-10.0 มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

5.2.3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มาทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งได้แก่ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fracturability) ได้ผลดังตารางที่ 4-9 จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่า ความแข็งและค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งพบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้นในทุกระดับมีผลทำให้ความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ความแข็ง (hardness) หมายถึงค่าแรงกดสูงสุด ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อาจเกิดจากโปรตีนจากน้ำหมึกผงจะทำให้ส่วนผสมที่อยู่ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีความฝืดมากขึ้นและทำให้เกิดแรงเฉือนเพิ่มขึ้นภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Faubion & Tsang, 1982) จึงทำให้สตาร์ชเกิดการถูกทำลายกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากเกินไปจนเกิดการสูญเสียโครงสร้างและไม่สามารถทนต่อสภาวะที่มีความดันไอสูงเมื่อผ่านพ้นหน้าแปลนออกมา จึงทำให้เกิดการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ (Colonna, Tayeb, & Mercier, 1989; Moraru & Kokini, 2003) ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสคล้ายโฟมจึงทำให้มีค่าแรงกดแตกต่ำ

จากผลการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะ พบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่าความแตก

เปราะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงที่ร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 มีค่าความแตกเปราะต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง แต่ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีค่าความแตกเปราะต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ค่าความแตกเปราะ (fracturability) คือค่าระยะทางที่กดลงไปถึงจุดที่ทำให้ตัวอย่างแตก โดยที่ถ้าตัวอย่างแตกที่ระยะสั้น หมายถึงตัวอย่างมีค่าความกรอบสูง จากผลการวิเคราะห์พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผง ร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 มีค่าความกรอบมากกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง โดยพบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 และ 5.0 ทำให้ได้มีค่าความแตกเปราะลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 7.5 และ 10.0 ทำให้นมขบเคี้ยวมีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้น

ความกรอบเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ซึ่งผู้บริโภคใช้เป็นเกณฑ์หลักเพื่อพิจารณาตัดสินการยอมรับ ขนมขบเคี้ยวที่มีความกรอบ จะมีภายในที่เป็นโพรงอากาศหรือช่องว่าง โครงสร้างที่เป็นโพรงอากาศหรือช่องว่างนี้เกิดมาจาก น้ำภายในส่วนผสมระเหยออกมาและดันสตาร์ชพองขึ้น เมื่อส่วนผสมเคลื่อนที่ออกมาสู่ด้านหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (ชลลดา ไร่ขาม, 2556) ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันจะมีลักษณะพอง และกรอบได้นั้น ต้องอาศัยสภาวะที่มีปัจจัยต่าง ๆ เหมาะสม เช่น ชนิดของส่วนผสม ความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิในระหว่างการเอกซ์ทรูชัน ระยะเวลาที่ส่วนผสมอยู่ในเครื่อง เป็นต้น ซึ่งการเติมน้ำหมึกผงในปริมาณแตกต่างกัน ทำให้ปริมาณสตาร์ชในส่วนผสมแตกต่างกันตามไปด้วย ในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความชื้นของส่วนผสม และอุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงที่ ย่อมส่งผลให้การพองตัวหรือความแข็งแรงของโครงสร้างขนมขบเคี้ยวแตกต่างกัน ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าจะมีปริมาณน้ำหมึกผงที่ความเหมาะสม ที่ทำให้สภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันเหมาะสมสามารถผลิตขนมขบเคี้ยวมีค่าความกรอบมากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 และ 7.5 มีค่าความกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณมาก ร้อยละ 10.0 ค่าความแตกเปราะจะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งจากภาพลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 จะมีเนื้อสัมผัสคล้ายโฟม เมื่อกดจะมีลักษณะนุ่มและยุบลง จึงทำให้ค่าการแตกเปราะของผลิตภัณฑ์มีค่ามากขึ้น

จะเห็นได้ว่าการเติมน้ำหมึกผงทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างไปจากเดิม คือเปลี่ยนจากการมีเนื้อสัมผัสที่กรอบแข็ง เป็นนุ่มคล้ายโฟม การที่เป็นเช่นนี้นอกจากเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสตาร์ชจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันดังที่กล่าวมาในขั้นต้นแล้ว อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของส่วนผสมของขนม

ขบเคี้ยวกับสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำหมึกผง เช่น เพปทิโดไกลแคน (peptidoglycans) กรดอะมิโน และโลหะหนัก (Derby, 2014) ยังอาจมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้ ซึ่งผลและกลไกการเกิดอันตรกิริยาของสารต่าง ๆ ในส่วนผสมที่มีต่อเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวอาจจะต้องมีการศึกษาโดยละเอียดต่อไป

5.3.1.6 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.0 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง มาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ ด้วยวิธี scoring โดยให้คะแนนความเข้มของค่าคุณภาพ 1-5 คะแนน จากความเข้มน้อยไปมาก ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4-8 จากผลการประเมินพบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ความเข้มของสีดำ กลิ่นคาว กลิ่นรสหมึกของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น จากผลการประเมินความเข้มจะเห็นได้ว่าความเข้มของสีดำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงที่เติมมีค่ามากขึ้น ($p<0.05$) จากการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผง (ดังตารางที่ 4-3) จะพบว่าน้ำหมึกผงมีค่าความสว่าง L* มีค่าต่ำมากประมาณ 15.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำหมึกผงมีความเป็นสีดำมาก เมื่อนำน้ำหมึกผงลงมาเติมลงในขนมขบเคี้ยวจึงทำให้มีค่าความเป็นสีดำมากขึ้นตามปริมาณน้ำหมึกผงที่เติม เช่นเดียวกับกลิ่นคาวและกลิ่นรสหมึกซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของน้ำหมึกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่มีค่าความเข้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณน้ำหมึกผงที่มากขึ้น ในด้านความแข็งพบว่าคะแนนด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมเคี้ยวมีการเติมน้ำหมึกผงได้รับคะแนนลดลงต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งที่วิเคราะห์จากลักษณะเนื้อสัมผัสที่กล่าวมาข้างต้น (ดังตารางที่ 4-9) ที่พบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้นในทุกระดับมีผลทำให้ความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในส่วนของค่าความกรอบ พบว่า เมื่อเติมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 มีคะแนนความเข้มของความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีผลทำให้ความกรอบลดลง ซึ่งมีคะแนนความกรอบไม่แตกต่างจากตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง ซึ่งจากคะแนนความเข้มของค่าความกรอบ นั้นสอดคล้องกับค่าความแตกเปราะวิเคราะห์จากลักษณะเนื้อสัมผัสของค่าความแตกเปราะ (ดังตารางที่ 4-9) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงจากร้อยละ 0.0 เป็นร้อยละ 5.0 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ได้มีค่าความแตกเปราะลดลง หมายถึงขนมขบเคี้ยวมีความกรอบเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 7.5

และ 10.0 ทำให้นมขบเคี้ยวมีค่าความแตกเปราะเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงขนมขบเคี้ยวมีความกรอบลดลง

ผลคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ด้วยวิธี 9-point hedonic scale แสดงดังตารางที่ 4-9 จากผลการประเมินพบว่า ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 2.5 5.0 และ 7.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด และไม่แตกต่างกัน แต่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการน้ำหมึกผงร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุดซึ่งจากภาพที่ 4-2 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงลงไปร้อยละ 10.0 ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะมีการบิดเกลียว ไม่พองตัว จึงอาจเป็นสาเหตุให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏน้อยที่สุด ในส่วนคะแนนความชอบด้านสี พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด แต่มีคะแนนไม่แตกต่างกับขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 5.0 และ 10.0 ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามจากการสังเกตแนวโน้มจะพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงจะได้รับคะแนนความชอบด้านสี อยู่ในช่วง 6.13-6.77 คะแนน (อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย) ซึ่งมากกว่าคะแนนความชอบด้านสีขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผงที่มีค่าเท่ากับ 5.90 คะแนน (อยู่ในระดับเฉย ๆ) อาจแสดงถึงผู้บริโภคมีความชอบสีของขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงมากกว่า โดยขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 5.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกับขนมขบเคี้ยวที่ไม่เติมน้ำหมึกผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) คะแนนความชอบด้านกลิ่น พบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 และ 7.5 ($p \geq 0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นน้อยที่สุด ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง ไม่มีกลิ่นรส แต่ถ้าเติมน้ำหมึกผงมากถึงร้อยละ 10.0 ขนมขบเคี้ยวที่ได้อาจมีกลิ่นคาวจากหมึกมากเกินไป ผู้บริโภคจึงมีความด้านกลิ่นลดลง ส่วนความชอบด้านกลิ่นรส พบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด รองลงมาเป็นขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 และ 7.5 และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนต่ำที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผงอาจไม่มีกลิ่นรส ผู้บริโภคจึงให้คะแนนความชอบน้อย แต่ถ้าเติมน้ำหมึกผงปริมาณมากเกินไป เป็นร้อยละ 10.0 อาจกลิ่นรสความจากหมึกที่เติมมากจนเกินไป จนทำให้ผู้บริโภคมีความชอบลดลง และคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับ

คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีความกรอบมากที่สุด ผู้บริโภคจึงให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด รองลงมาคือขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 2.5 7.5 และ 10.0 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด ($p<0.05$) และจากผลคะแนนความชอบโดยรวม พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 7.07 คะแนน อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านอื่น ๆ (ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส) มากที่สุดเช่นกัน

5.3 ผลของความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

5.3.1 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์ผลความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม ผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบแฟคทอเรียล แสดงผลดังตาราง ANOVA ได้ผลดังตารางที่ 4-12 จากตารางพบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม มีผลต่อค่าคุณภาพทุกค่า คือเส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นค่าความหนาแน่น ($p\geq0.05$)

5.3.1.1 ผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง

จากผลการวิเคราะห์เส้นผ่าศูนย์กลาง ตารางที่ 4-13 และ ภาพที่ 4-4(A) ที่ระดับความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 15 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มมากขึ้น เส้นผ่าศูนย์กลางของขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลง สอดคล้องกับภาพลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ภาพที่ 4-4(ก) (ข) และ (ค) การที่เป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากภาพสามารถสังเกตได้จากบริเวณผิวรอบนอกของผลิตภัณฑ์ที่มีการยุบตัวลงมา การยุบตัวของผลิตภัณฑ์อาจมีสาเหตุมาจาก ความชื้นต่ำ (ร้อยละ 15) เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มมากขึ้นอาจทำให้สตาร์ชได้รับความร้อนและแรงเฉือนมากขึ้น ความชื้นที่ต่ำทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมากขึ้น และเคลื่อนที่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ช้า

ลง จึงทำให้มีโอกาสได้รับแรงเฉือนมากและนานขึ้น จนสตาร์ชเกิดการเดกซ์ทริไนเซชั่น (dextrinization) ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชมีขนาดเล็กลง (Dennis & Richard, 1997) เมื่อสตาร์ชเกิดการถูกทำลายกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากเกินไป จนเกิดการสูญเสียโครงสร้างจึงไม่สามารถทนต่อสภาวะที่มีความดันไอสูงเมื่อผ่านพ้นหน้าแปลนออกมา จึงทำให้เกิดการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ (Moraru & Kokini, 2003)

ในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เส้นผ่าศูนย์กลางของขนมขบเคี้ยวมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับภาพลักษณะปรากฏที่พบ (ภาพที่ 4-4(ง)-(ฌ)) เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์นั้นบอกถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมาก ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะพองมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนการพองตัว จากตารางที่ 4-13 พบว่า ในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 และ 25 เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มมากขึ้น สัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยวมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งการให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมมากขึ้น (ร้อยละ 20-25) มีผลทำให้สตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์เซชั่นมากขึ้น จึงส่งผลให้สัดส่วนของขนมขบเคี้ยวมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee et al. (1999) ที่ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อผลิตพองกรอบจากสตาร์ชข้าวโพด ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลสูงขึ้นมีผลทำให้สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.96 เซนติเมตร

5.3.1.2 ผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสัดส่วนการพองตัว

จากผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนการพองตัวพบว่า เมื่อความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 15 การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลทำให้สัดส่วนการพองตัวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับค่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่วิเคราะห์ได้ข้างต้น สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ คือ สัดส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวและเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน (Die) (Sangnark et al., 2015) จากตารางที่ 4-13 แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนการพองตัวมีค่าแปรผันตรงกับค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง เมื่อพิจารณาที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรล ส่งผลให้สัดส่วนการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-4 (B)) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Chiang and Johnson (1997) ได้รายงานความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ไว้ว่าเมื่อนำวัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างสูง มาผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการพองตัวต่ำ และ Chaiyakul et al. (2009) ที่ทำการศึกษาผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

ต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่มีปริมาณโปรตีนสูง โดยเมื่อใช้ปริมาณโปรตีน (จากข้าวสาลีผสมถั่วเหลือง) ร้อยละ 20 และ 30 ปริมาณความชื้นร้อยละ 20-30 และอุณหภูมิของบาร์เรล 150 และ 180 องศาเซลเซียส พบว่าที่สภาวะความชื้นเท่ากัน เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น จาก 150 เป็น 180 องศาเซลเซียส สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Lee et al. (1999) ที่พบว่าเมื่ออุณภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น (80-90 องศาเซเซียส) มีผลทำให้สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากสตาร์ชข้าวโพดเพิ่มมากขึ้น และ Saeleaw, Durrschmid, and Schleining (2012) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น จะทำให้สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน Chaiyakul et al. (2009) ได้รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบาร์เรลเป็นการลดความหนืดของส่วนผสม ซึ่ง Ilo, Liu, and Berghofer (1998) ได้กล่าวว่าความหนืดของส่วนผสมในกระบวนการเอกซ์ทรูเดอร์จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลสูงขึ้น การลดลงของความหนืดเป็นผลทำให้เกิดฟองอากาศของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน จากการที่น้ำในส่วนผสมได้รับความร้อนสูงในระหว่างกระบวนการเอกซ์รูชัน เมื่อส่วนผสมเคลื่อนตัวออกจากหน้าแปลน ความชื้นจะระเหยออกจากส่วนผสม ทำให้ดันโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ออก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวมาก และเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 อุณหภูมิบาร์เรลเท่ากับ 100 และ 110 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการเอกซ์ทรูชันจะต้องใช้ความชื้นที่สูงมากพอจึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถเกิดการพองตัวได้มาก

5.3.1.3 ผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อความหนาแน่น

ในส่วนของค่าความหนาแน่น จากผลในตารางที่ 4-12 พบว่าปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ($p \geq 0.05$) เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักทีละปัจจัยพบว่า อุณหภูมิของบาร์เรลไม่มีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ($p \geq 0.05$) แต่ความชื้นของส่วนผสมมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมสูงขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4-14) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding et al. (2006) ที่ทำการศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากแป้งสาลี ที่มีการใช้อัตราการป้อนส่วนผสม 20-32 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 14-22 ความเร็วรอบสกรู 180-320 รอบต่อนาที และอุณหภูมิของบาร์เรล 100-140 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อความชื้นของส่วนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นที่ได้ พบว่ามีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับค่าสัดส่วนการพองตัวที่วิเคราะห์ได้ข้างต้น ซึ่งพบว่าในสภาวะที่อุณหภูมิของบาร์เรลเดียวกัน เมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสัดส่วนการพองตัวมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding et al. (2006) ที่พบว่าความชื้นของส่วนผสมนั้นเป็นปัจจัยหลักต่อความหนาแน่นและสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

5.3.1.4 ผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อดัชนีการละลายน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลาย พบว่าพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าการละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ดัชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 4-12 และภาพที่ 4-4(D)) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangnark et al. (2015) ที่ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยใช้ส่วนผสมที่มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 15 อุณหภูมิของบาร์เรล 120-160 องศาเซลซียส และความเร็วรอบของสกรู 150-250 รอบต่อนาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นดัชนีการละลายน้ำของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding et al. (2005) ที่ทำการศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าว พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น (100-140 องศาเซลเซียส) มีผลทำให้ดัชนีการละลายน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดย Ding et al. (2005) ได้กล่าวเพิ่มเติมว่า ค่าดัชนีการละลายน้ำนั้นเป็นตัวบ่งชี้ถึงโมเลกุลของส่วนประกอบที่ถูกทำให้มีขนาดเล็กลง (degradation) ในการวัดปริมาณของสตาร์ชที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้นสามารถวัดได้จากปริมาณของสารโพลิแซคคาไรด์ที่ละลายออกมาหลังจากที่สตาร์ชหลังผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน สอดคล้องกับโสภิดา ก่อเกิด (2555) ได้ศึกษาผลของปัจจัยการผลิตโดยกระบวนการเอ็กซทรูชันที่มีต่อสมบัติของขนมขบเคี้ยวที่เป็นแหล่งของใยอาหารที่ทำจากแป้งข้าวผสมกับเศษผลไม้จากโรงงานแปรรูปอาหาร พบว่าค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้การเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะถ้าวัตถุดิบมีความชื้นต่ำจะทำให้โมเลกุลของสตาร์ชถูกตัดเป็นสายสั้นๆ (dextrinization) จึงทำให้สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ซึ่ง Lei et al. (2005) รายงานเพิ่มเติมว่าการเพิ่มอุณหภูมิในส่วนหน้าแปลน (die zone) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดเกิดเดกซ์ทริไนเซชั่นของสตาร์ชมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Guha et al. (1997) ได้กล่าวไว้ว่า สตาร์ชจะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลสูงขึ้น เนื่องจากสตาร์ชเกิดเดกซ์ทริไนเซชั่น

5.3.1.5 ผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อดัชนีการดูดซับน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (ตารางที่ 4-10) พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding, Ainsworth, Plonkell, and Marson (2005) ที่ทำการศึกษาสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมเขี้ยวจากข้าวเจ้า โดยใช้อัตราการป้อนส่วนผสมร้อยละ 20-32 ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 14-22 ความเร็วรอบสกรู 180-320 รอบต่อนาที และอุณหภูมิของบาร์เรล 100-140 องศาเซลเซียส พบว่า ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยจากการทดลองในตารางที่ 4-13 พบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่าสูง (ร้อยละ 20 และ 25) มีผลทำให้ดัชนีการดูดซับน้ำมีค่าสูงที่สุด (7.68-7.75) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Anderson et al. (1969) ที่รายงานว่า ดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นส่วนผสมเพิ่มขึ้น

ในกรณีที่ความชื้นของส่วนผสมมีค่าสูง เช่น ร้อยละ 20 และ 25 การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลทำให้สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชันได้มาก ซึ่งค่าดัชนีการดูดซับน้ำ เป็นการวัดปริมาณน้ำที่สตาร์ชดูดซับไว้ สามารถใช้บอกถึงดัชนีการเกิดเจลาติไนท์เซชั่นของสตาร์ช (Anderson et al., 1969) โดยถ้าสตาร์ชเกิดเจลทิไนเซชั่นมากในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน สตาร์ชจะดูดซับน้ำไว้ได้มาก ในส่วนของค่าการดูดซับน้ำ จากผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นของส่วนผสมต่ำ (ร้อยละ 15) ที่พบว่ามีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรล ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่มีน้ำในส่วนผสมน้อย ทำให้วัตถุดิบต้องใช้เวลาในการเคลื่อนที่อยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ซึ่งมีทั้งความร้อนและแรงเฉือนนานกว่าวัตถุดิบที่มีความชื้นของส่วนผสมสูง จึงทำให้เม็ดสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนเซชันได้รับแรงเฉือน ทำให้เม็ดสตาร์ชเสียหาย ทำให้สตาร์ชเกิดการเดกซ์ทริไนเซชั่น (dextrinization) โมเลกุลของสตาร์ชเล็กลง ไม่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้ (Dennis & Richard, 1997)

5.3.1.6 ผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ซึ่งได้แก่ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fracturability) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน จะมีลักษณะเด่นคือ เนื้อของผลิตภัณฑ์ที่พอง เบา กรอบ ความหนาแน่นต่ำ (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543) อาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยทั่วไปจะมีลักษณะพอง กรอบ เนื้อสัมผัสไม่แข็งจนเกินไป

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-12 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ($p<0.05$) จากผลการ

วิเคราะห์ค่าความแข็ง ดังตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-4(F) พบว่าในระดับที่อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากัน เมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding et al. (2005) ที่พบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 14-22) มีผลทำให้ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันมีค่ามากขึ้น ความแข็งที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากการที่สัดส่วนการพองของผลิตภัณฑ์ลดลง เมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่าในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 25 มีผลทำให้ค่าความแข็งมีค่าสูงที่สุด (3010.46- 4960.90 g.) ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับสัดส่วนการพองตัวจะพบว่าในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะพองตัวเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากเมื่อความชื้นของส่วนผสมมีมาก น้ำจะทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ได้เร็วมากขึ้นในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ทำให้วัตถุดิบอาจเกิดเจลาติไนเซชันในปริมาณที่ไม่มาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงพองตัวเพียงเล็กน้อย และมีความแข็ง แต่เมื่อความชื้นของส่วนผสมต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 15 ทำให้ค่าความแข็งมีค่าต่ำที่สุด (871.42 - 2005.01 g.) ซึ่งจากภาพลักษณะปรากฏที่ 4-3 (ก) (ข) และ (ค) จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นเกลียว เมื่อใช้แรงกดลงผลิตภัณฑ์จึงแตกได้ง่าย และพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างพองตัวดี มีค่าความแข็งที่มากกว่าที่ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 แต่น้อยกว่าที่ความชื้นส่วนผสมร้อยละ 25 และสอดคล้องกับ Meng, Threinen, Hansen, and Driedger (2010) ได้ทำการศึกษาสภาวะของกระบวนเอกซ์ทรูชันต่อคุณสมบัติของขนมขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลูกไก่ (chickpea flour) ที่ความเร็วรอบของสกรู 250-320 รอบต่อนาที ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 16-18 และอุณหภูมิของบาร์เรล 150-170 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อกำหนดให้ความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิคงที่ เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มตามขึ้นเช่นกัน ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสแข็งเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่พองตัว

ค่าความแตกเปราะ (fracturability) คือค่าระยะทางที่กดลงไปถึงจุดที่ทำให้ตัวอย่างแตก โดยที่ถ้าตัวอย่างแตกที่ระยะทางน้อย หมายถึงตัวอย่างมีค่าความกรอบสูง จากผลการทดลองในตารางที่ 4-12 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว จากผลการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะดังตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-4(G) พบว่าที่ระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 มีค่าความแตกเปราะระหว่าง 1.24-2.00 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ระยะการกดปานกลาง โดยมีค่าที่สูงกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 20 แต่ต่ำกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 25 ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่เตรียมที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 ค่อนข้างแตกง่าย เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะบิดเกลียว ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์หักง่าย เมื่อใช้แรงกดลงที่ผลิตภัณฑ์ แต่ในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ

20 ผลิตภัณฑ์มีค่าการแตกเปราะต่ำที่สุด (1.20-1.25) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 และ 25 เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะพอง ดังนั้นการทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออกจึงใช้แรงกดน้อย ซึ่งแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากที่สุด และที่ระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 มีค่าความแตกเปราะระหว่าง 2.59-3.28 มิลลิเมตร โดยมีค่าที่สูงกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 และ 20 แสดงว่าผลิตภัณฑ์แตกยากเมื่อรับแรงกด เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะพองเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ผลิตภัณฑ์หักยาก ต้องใช้แรงกดลงที่ผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้น โดยที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 25 อุณหภูมิของบาร์เรล 90 องศาเซลเซียส ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 3.28 ($p<0.05$) และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 มีค่าการแตกเปราะต่ำที่สุด แสดงถึงผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากที่สุด

เมื่อพิจารณาที่ความชื้นของส่วนผสมต่ำ (ร้อยละ 15) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลมากขึ้น ค่าความแตกเปราะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง แต่ที่ความชื้นของส่วนผสมสูง (ร้อยละ 25) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความแตกเปราะลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding et al. (2005) ที่รายงานว่าความชื้นของส่วนผสมนั้นมีผลต่อค่าความกรอบ (crispness) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ความกรอบของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

5.3.1.7 ผลของสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อโครงสร้างทางจุลภาค

จากผลการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM ที่กำลังขยาย 8 เท่า และ 50 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ

จากภาพตัดขวางผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 8 เท่า (ภาพที่ 4-5) ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะของฟองอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้มีความเกี่ยวข้องการพองตัวของผลิตภัณฑ์ Altan, McCarthy and Maskan (2008) ได้รายงานว่า การผลิตอาหารกระบวนการเอกซ์ทรูชันโดยมีวัตถุดิบหลักเป็นธัญพืชนั้น ไม่ได้มีผลเพียงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว แต่ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางจุลภาคอีกด้วย ตัวอย่างที่มีฟองอากาศจำนวนมากและมีขนาดใหญ่ จะมีสัดส่วนการพองตัวที่สูง ได้แก่ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบารร์เรล 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพ 4-5 (จ) ในขณะที่ตัวอย่าง

ที่มีฟองอากาศจำนวนน้อย และมีขนาดฟองอากาศที่เล็ก ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 และอุณหภูมิของบาร์เรล 90 และ 100 องศาเซลเซียส จะมีสัดส่วนการพองตัวน้อย แสดงในภาพ 4-5 (ช) และ (ฌ) ตามลำดับ

จากผลการศึกษาภาพตัดขวางผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 50 เท่า (ภาพที่ 4-6) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ เป็นผลมาจากความชื้นของส่วนผสม และอุณหภูมิของบาร์เรลที่ใช้ในกระบวนการผลิต โครงสร้างทางจุลภาคที่ได้นั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงตัวของฟองอากาศ จากภาพตัดขวางจะสามารถสังเกตได้ว่า เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่ามากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวลดลง ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 25 อุณหภูมิ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4-6(ช) (ซ) และ (ฌ) ตามลำดับ ที่สภาวะความชื้นร้อยละ 15 ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมาก มีฟองอากาศจำนวนมาก ฟองอากาศที่เป็นท่ออย่างชัดเจน แต่เซลของฟองอากาศมีลักษณะเล็กและมีการยุบตัว ซึ่งอาจเกิดจากการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ ถัดมาที่ระดับความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมาก ฟองอากาศที่เป็นท่ออย่างชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ ผนังเซลของฟองอากาศมีลักษณะพองและหนา และในระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 พบว่าผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อยกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 และ 20 สังเกตได้จากภาพที่ 4-6(ช) (ซ) และ (ฌ) ภายในโครงสร้างของขนมขบเคี้ยวมีฟองอากาศขนาดเล็ก และใหญ่กระจายอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ผนังเซลล์ของฟองอากาศเรียงชิดติดกันจนหนา ซึ่งแตกต่างกับที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 และ 20 ที่ผนังเซลล์ของฟองอากาศมีลักษณะบาง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saeleaw et al. (2012) ได้รายงานว่าผลิตภัณฑ์ที่มีผนังเซลล์ของฟองอากาศบาง อาจเกิดจากผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนอย่างพอเหมาะ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว และสามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้เมื่อถูกผลักออกผ่านหน้าแปลน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ได้รับคความร้อนสูงเกินไปอาจทำให้เม็ดสตาร์ชฉีกขาด (dextrinization) เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกผลักออกจากหน้าแปลน น้ำระเหยออกดัน โครงสร้างเกิดการพองตัว แต่โครงสร้างที่เกิดการฉีดขายจึงไม่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ ผนังเซลล์ของฟองอากาศจึงพับตัวลงมา เรียงชิดกัน จึงเห็นเป็นลักษณะผนังเซลล์ที่หนาทึบ ดังภาพที่ 4-6(ช) (ซ) และ (ฌ)

ในสภาวะที่กำหนดให้อุณหภูมิของบาร์เรลสูงขึ้น คือที่อุณหภูมิ 100 และ 110 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างของฟองอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไป เกิดจำนวนของฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น และผนังของฟองอากาศมีลักษณะบาง (ภาพที่ 4-6 (ข) (จ) และ (ซ)) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saeleaw et al. (2012) ที่ศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจาก

ข้าวไรย์ที่อุณหภูมิของบาร์เรล 150 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิของงบาร์เรลเพิ่มขึ้น มีผลทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผนังของฟองอากาศที่บาง ซึ่งอาจเกิดจากผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนที่พอเหมาะ ทำให้เกิดการพองตัว จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลสูงที่สุด (110 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์จะมีฟองอากาศขนาดเล็ก และมีผนังของฟองอากาศหนา ซึ่งเกิดจากการพับตัวของโครงสร้าง เนื่องมาจากสตาร์ชเกิดเดกซ์ทริไนเซชั่น โมเลกุลของสตาร์ชมีขนาดเล็กลง เกิดการฉีดขาดเม็ดสตาร์ช จึงไม่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกผลักพาผ่านหน้าแปลนออกมา และน้ำกลายเป็นไอน้ำ ดันโครงสร้างของส่วนผสมให้พองตัวออก แต่ผนังของฟองอากาศที่เกิดจากสตาร์ชที่เกิดเดกซ์ทริไนเซชั่นไม่สามารถทนแรงดันนั้นได้ จึงเกิดการพับตัวของโครงสร้าง ผนังของฟองอากาศจึงมาเรียงชิดติดกันมากขึ้น ทำให้โครงสร้างมีความโปร่งลดลง เห็นเป็นโครงสร้างทึบมากขึ้น

จากภาพลักษณะตัดขวางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 อุณหภูมิของบาร์เรล 100 และ 110 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-6(จ) และ (ฉ)) ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะพองตัวมาก ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ และจากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแตกเปราะ พบว่าตัวอย่างที่สภาวะนี้มีความกรอบมากกว่าตัวอย่างที่สภาวะอื่น ๆ ซึ่ง Varela, Chen, Fiszman, and Povey (2006) ได้กล่าวว่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับรูปร่างฟองอากาศ ขนาดของฟองอากาศ โครงสร้าง และโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่พองตัว พบว่าเป็นผลมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการพองตัวของผลิตภัณฑ์และโครงสร้างของฟองอากาศ เมื่อการพองตัวเพิ่มมากขึ้น ความหนาของชั้นโมเลกุลของสตาร์ชที่อยู่รอบ ๆ ฟองอากาศจะลดลง จึงทำให้เมื่อออกแรงกดผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จะแตก กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความกรอบ

จากการอภิปรายผลข้างต้นในส่วนของลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านความแข็งและความแตกเปราะ อาจกล่าวได้ว่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีผนังของฟองอากาศหนา เช่น ในสภาวะ (ภาพที่ 4-6 (ซ) และ (ฌ)) และโครงสร้างทึบ จะใช้แรงกดที่มากกว่า ซึ่งมีความแข็งมากนั่นเอง

5.3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ดังตารางที่ 4-13 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลไม่มีผลต่อสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อ ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ แต่

ความชื้นของส่วนผสมนั้นไม่มีผลต่อสมบติในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 ค่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-15 พบว่าในสภาวะที่อุณหภูมิของบาร์เรล 90 และ 100 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าที่อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส

ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าสูงที่สุด ที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งคำนวนเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับร้อยละ 26.68-26.69 ค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าสูงที่สุด ที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส คำนวนเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 408.77-409.79 μmolTE/g sample และค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงที่สุด คำนวนเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 843.43 μmolTE/g sample จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น มีผลทำให้สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sharma, Gujral, and Singh (2012) ที่ทำการศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวบาร์เล่ย์ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลจาก 150 องศาเซลเซียส เป็น 180 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นของส่วนผสมคงที่ร้อยละ 15 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงจากร้อยละ 11-25 เช่นเดียวกับในสภาวะความชื้นของส่วนผสมคงที่ร้อยละ 20 เมื่อปรับอุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้นจาก 150 องศาเซลเซียส เป็น 180 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าลดลงร้อยละ 18-33

กระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้นเป็นกระบวนการที่มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านคุณค่าทางอาหาร ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของวัตถุดิบ (องค์ประกอบและขนาดอนุภาค) และสภาวะของกระบวนการผลิต (อุณหภูมิ อัตราการป้อนส่วนผสม ความเร็วรอบของสกรู ความชื้นของส่วนผสม) ซึ่งอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อเนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Brennan, Brennan, Derbyshire, & Tiwari, 2011; Singh, Gamlath, & Wakeling, 2007) จากการศึกษาผู้วิจัยพบว่ามีงานวิจัยที่มีการรายงานว่า กระบวนการเอกซ์ทรูชันสามารถเพิ่มสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Dewanto, Wu, Adom, & Liu, 2002; Nicoli, Anese, Parpinel, Franceschi, & Lerici, 1997) เนื่องจากกระบวนการผลิตอาหารที่มีการให้ความร้อนนั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยรงควัตถุสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น (โดยเฉพาะ melanoidins) นั้นมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Rufian-Henares & Delgado-Andrade, 2009)

5.3.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกัน แต่รับคะแนนการยอมรับในด้านสีไม่แตกต่างกัน

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากสภาวะความชื้นของส่วนผสมสูงสุดที่ร้อยละ 25 มีแนวโน้มได้รับคะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากที่ความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 15 และ 20 และผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนจากผู้ทดสอบน้อยกว่า 6 (ซึ่งคะแนน 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย และ คะแนน 5 หมายถึง เฉยๆ) ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4-11 และภาพลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ภาพที่ 4-3 (ค) (ฉ) และ (ฌ) จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อย มีเนื้อสัมผัสแข็ง และมีความกรอบน้อย จึงส่งผลให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในสภาวะนี้

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในด้านการยอมรับโดยรวม พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากสภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด (7.00) ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่สภาวะนี้มีสัดส่วนการพองตัวมาก ความหนาแน่นต่ำ มีความแข็งปานกลาง และมีความกรอบสูง จึงอาจส่งผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับโดยรวมแก่ผลิตภัณฑ์ในสภาวะนี้สูงที่สุด

5.3.4 ผลการพิจารณาเลือกสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่เหมาะสม

จากการพิจารณาสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย มีจากคะแนนความชอบโดยรวมตั้งแต่ 6 คะแนนขึ้นไป และมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จึงทำการเลือกสภาวะกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรลชุดที่ 1 เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

5.4 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มพลาสติกต่างชนิดกัน 2 ชนิด คือ ฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP และชนิด OPP/MPET/CPP และปิดผนึกบรรจุภัณฑ์

แบบปรับสภาพบรรยากาศโดยพ่นก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 99.99 เก็บบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ในระหว่างการเก็บรักษาทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาประเมินคุณภาพทุก 2 สัปดาห์

ในการวิจัยขั้นตอนนี้ใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มพลาสติกต่างชนิดกัน 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ซึ่งทำจากฟิล์มพลาสติกชนิด Oriented Polypropylene (OPP) หนา 50 ไมครอน เคลือบด้วยฟิล์ม Cast Polypropylene (CPP) หนา 40 ไมครอน และถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ซึ่งทำจากฟิล์มพลาสติกชนิด Oriented Polypropylene (OPP) หนา 50 ไมครอน เคลือบด้วยฟิล์ม Metalized Polyethylene Terepthalate (MPET) หนา 12 ไมครอน และ Cast Polypropylene (CPP) หนา 40 ไมครอน ฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP เป็นฟิล์มที่ลามิเนตระหว่างฟิล์ม OPP (Oriented Polypropylene) และ ฟิล์ม CPP (Cast Polypropylene) ซึ่งฟิล์มทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติเด่นมากในด้านความใส ผิวมันวาว เหนียว ทนต่อแรงดึง กันน้ำได้ดี โดยฟิล์ม OPP และ CPP นิยมนำมาใช้ควบคู่กันโดย CPP จะทำหน้าที่เป็นชั้นเคลือบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารหรือสินค้าที่บรรจุปลอดภัยจากผลกระทบของสีที่พิมพ์ลงบนฟิล์ม OPP ในขณะที่ถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP เป็นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการลามิเนตเช่นกัน โดยมีการเพิ่มชั้นฟิล์ม MPET ซึ่งเป็นฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉาบด้วยโลหะอลูมิเนียม (aluminum) ที่ทำให้ซองบรรจุภัณฑ์มีลักษณะแวววาว กันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี ช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์ภายในได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มชนิดธรรมดา จึงทำให้ฟิล์ม Metalized เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับขนมขบเคี้ยวเบเกอรี่ ซึ่งฟิล์ม MPET (Metalized Polyester) ก็เป็นฟิล์ม Metalized ที่นิยมใช้ในการลามิเนตชนิดหนึ่ง (สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2553)

5.4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wan and Kumar (2016) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขนมขบเคี้ยวที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชันในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 120 วัน ซึ่งพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน และจากผลการทดลองในตารางที่ 4-26 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้ง

ชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 และ 2 สัปดาห์ มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 8.77-8.82 และผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์มีปริมาณความชื้นมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 9.90 ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาในการการเก็บรักษาที่สัปดาห์ 12 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าความชื้นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงฟิล์ม Metalized (ฟิล์มที่มีการเคลือบด้วยโลหะอลูมิเนียม) นั้นมีความชื้นที่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นถึงคุณสมบัติของฟิล์มลามิเนตที่นำมาใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ ว่าฟิล์ม Metalized สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและแสงได้ดี จึงช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์ภายในได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มชนิดธรรมดา (สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2553) อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wan and Kumar (2016) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขนมขบเคี้ยวที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชันในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มพลาสติกต่างกัน 2 ชนิด คือ ฟิล์มชนิด LDPE (Low Density Polyethylene) และฟิล์มลามิเนต PE/AL/PP (Polyeater/Aluminium/Polypropylene) ซึ่งพบว่าในระหว่างการเก็บรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์สองชนิดมีค่าแตกต่างกัน และพบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยถุงจากฟิล์ม PE/AL/PP ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีการเคลือบด้วยโลหะอลูมิเนียมมีค่าความชื้นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยถุงฟิล์ม LDPE ซึ่งเป็นฟิล์มพลาสติกธรรมดา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่แตกต่างกัน นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากความหนาของฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ซึ่งมีค่าความหนามากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP (102 ไมครอน และ 90 ไมครอน ตามลำดับ) จึงทำให้ฟิล์ม OPP/MPET/CPP สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้มากกว่าฟิล์ม OPP/CPP

5.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่า a_w

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก ซึ่งจากภาพที่ 4-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอาภัสรา แสงนาค อัญชลี เรืองเดช กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ วิชมณี

ยืนยงพุทธกาล และอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ (2555) ที่ทำการศึกษาหาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ OPP (oriented polypropylene) และ Met OPP (metallized oriented polypropylene) มีค่า a_w และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การเพิ่มขึ้นของค่า a_w และปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในชิ้นอาหาร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอน้ำในบรรยากาศสู่ชิ้นอาหาร ถึงแม้ว่าถุงพลาสติกชนิด OPP และ Met OPP จะมีคุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและอากาศได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับถุงฟิล์มพลาติกชนิดอื่น แต่ก็ไม่สามารถป้องกันการซึกผ่านของไอน้ำทั้งหมดได้ และไอน้ำอาจซึมผ่านเข้าไปจากบริเวณปากถุงที่มีการปิดผนึก ซึ่งอาจมีรูขนาดเล็กเกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีไอน้ำในบรรยากาศบางส่วนสามารถซึมผ่านไปยังชิ้นอาหารได้ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การดูดซับความชื้นของอาหาร

จากผลการวิเคราะห์ค่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าต่ำกว่า ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของปิยะวรรณ กาสลัก และรัชฎาพร อุ่นศิวิไลย (2558) ที่ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมสุขภาพจากถั่วหมักโดยบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงสุญญากาศและถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ซึ่งพบว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ชนิดถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ มีการเพิ่มขึ้นของค่า a_w น้อยกว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ชนิดถุงสุญญากาศ ค่า a_w ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน และอาจเป็นผลมาจากความหนาของฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ซึ่งมีค่าความหนามากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP จึงทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นข้างต้น

5.4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก

จากตารางที่ 4-24 แสดงปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่บรรจุในถุง OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก แสดงถึงการเกิดกลิ่นหืนของอาหาร เป็นค่าที่ใช้ประเมินว่าลิพิดในอาหารเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากน้อยเท่าใด โดยกรดไทโอบาร์บิทูริก 2 โมเลกุล จะทำปฏิกิริยากับมาโลนาลดีไฮด์ 1 โมเลกุล ทำให้เกิดสารสีแดง ซึ่งนำไปวัดความเข้มของสีได้ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ โดยปริมาณของสารมาโลนาลดีไฮด์ เป็นสารสำคัญที่ทำให้อาหารเกิดกลิ่นหืน ทำให้อาหารไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการเกิดกลิ่นหืนนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำมัน

หรือไขมันเป็นองค์ประกอบของอาหาร โดยน้ำมันจะเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระแบบปฏิกริยาลูกโซ่ และเมื่ออนุมูลอิสระสูงขึ้น ทำให้เกิดกลิ่นหืนมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, ม.ป.ป.) แต่จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก ($p \geq 0.05$) ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักทีละปัจจัยพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีต่อปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก โดยปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-12 สัปดาห์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.10-0.11 มิลลิกรัมของมาโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งสองชนิด เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันน้อยตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ ซึ่งอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกนั้นผลิตมาจากข้าวเจ้า และน้ำหมึกผง ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองชนิดนั้นมีไขมันเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย โดย น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป และจุติญาณี จิตรสุวรรณ (2554) รายงานว่าแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.32 และจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผง พบว่าน้ำหมึกผงซึ่งมีปริมาณไขมัน 0.09 กรัม/100 กรัม นอกจากนั้น น้ำหมึกผงที่เติมลงในขนมขบเคี้ยวนั้นเป็นสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันได้ จึงทำให้ปฏิกริยาออกซิเดชันของไขมันเกิดได้น้อยลง ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ อาภัสรา แสงนาค และคณะ (2555) ที่พบว่าปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลมีปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกไม่แตกต่างกันในระยะเวลาการเก็บ 12 สัปดาห์ นอกจากนี้ปริมารกรดไทโอบาร์บิก ของขนมขบเคี้ยวที่เก็บทั้งในถุง OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่มีค่าไม่แตกต่างกันกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจาก น้ำหมึกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงไปยับยั้งการเกิดปฏิกริยาลิพิดออกซิเดชันของขนมขบเคี้ยว ทำให้ปริมาณกรดไทโอบาร์บิกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากลิพิดออกซิเดชันของขนมขบเคี้ยวในระหว่างการเก็บรักษา 12 สัปดาห์มีค่าไม่แตกต่างกัน ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

Shamberger et al. (1977) กล่าวว่า ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของอาหารทั่วไปที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้คือ ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมมาโลแนลดีไฮด์/กิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ สุชาดา สังขพันธุ์ (2541) ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเทมเป้ ถั่วลิสง และงา มีกลิ่นหืนที่ผู้ทดสอบไม่สามารถยอมรับได้เมื่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกประมาณ 2

มิลลิกรัมมาโลแนลดีไฮด์/กิโลกรัม ซึ่งจากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงมีปริมาณ กรดไทโอบาร์บิทูริกประมาณ 0.10-0.12 มิลลิกรัมมาโลแนลดีไฮด์/กิโลกรัม ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่บรรจุในถุง OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เกิดกลิ่นหืนจากปฏิกริยาออกซิเดชันเพียงเล็กน้อย ทำให้ผู้บริโภคยังคงยอมรับด้านกลิ่นของผลิตได้

5.4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 ค่า ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Udomkun et al. (2015) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมะละกอทำแห้งในระหว่างการเก็บรักษา 9 เดือน ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ aluminum laminated polyethylene (ALP) และ polyamide/polyethylene (PA/PE) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าในระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น ค่าสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง ALP และ PA/PE มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งได้แก่ ค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH) และค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ ALP มีค่าลดลงร้อยละ 62 และ 35 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 9 เดือน เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ PA/PE ที่มีค่าลดลงร้อยละ 66 และ 42 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 9 เดือน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง ALP และ PA/PE มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นกัน โดย Udomkun et al. (2015) ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่า สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของมะละกออบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาลดลงเนื่องจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่ ลดลงมีผลทำให้สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย นอกจากนี้การสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงนั้นอาจเกิดจากการสูญเสียสารประกอบ

ฟีนอลิคจากการสัมผัสกับความร้อน ออกซิเจน และแสง

จากผลการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาสุดท้ายของการเก็บรักษาที่ 12 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Udomkun et al. (2015) ที่ทำการศึกษาสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของมะละกอทำแห้งในระหว่างการเก็บรักษา 9 เดือน ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกแตกต่างกัน 2 ชนิด คือบรรจุภัณฑ์ชนิด ALP เป็นฟิล์มลามิเนตที่ประกอบด้วย polyethylene terephthalate (PET) หนา 15 µm , low density polyethylene (LDPE) หนา 95 µm และ aluminum หนา 7 µm และบรรจุภัณฑ์ชนิด PA/PE เป็นฟิล์มที่ประกอบด้วย polyamide PA6 หนา 30 µm และ high density polyethylene (HDPE) หนา 60 µm ซึ่งพบว่าในระหว่างการเก็บรักษา สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่มีบรรจุในถุง ALP มีค่ามากกว่าที่บรรจุในถุง PA/PE และพบว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด ALP มีค่าเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน (%T) เท่ากับร้อยละ 0 แสดงให้เห็นว่าถุง ALP ไม่ยอมไม่ให้แสงผ่าน แต่ถุง PA/PE มีค่าเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน เท่ากับร้อยละ 95 ซึ่งมีค่าสูงมาก แสงสามารถส่องผ่านไปได้มาก อาจเนื่องมาจากถุง ALP เป็นถุงพลาสติกลามิเนตที่มีการเคลือบด้วยชั้นของ aluminum ทำให้มีลักษณะทึบแสง ในขณะที่ถุง PA/PE ไม่มีการเคลือบชั้นของโลหะจึงมีลักษณะใส และพบว่าถุง ALP มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนน้อยกว่าถุง PA/PE ซึ่งสอดคล้องกับ Miranda, Berna, Salazar, and Mulet (2009) ที่กล่าวว่าถุง ALP มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนค่าน้อยกว่าถุง PA/PE ซึ่งจากผลงานการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นอาจกล่าวได้ว่า บรรจุภัณฑ์ที่มีการเคลือบด้วยโลหะ เช่น อลูมิเนียม มีสมบัติป้องกันแสงและความชื้นได้มากกว่า จึงสามารถเก็บรักษากลิ่น รส และคุณค่าของอาหารได้มากกว่าถุงลามิเนตใส เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้วิจัย จะเห็นได้ว่า ถุง PA/PE และถุง OPP/CPP เป็นถุงฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการลามิเนตของพลาสติกใส 2 ชนิด ในขณะที่ถุง OPP/MPET/CPP มีลักษณะคล้ายกับถุง ALP คือเป็นถุงฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการลามิเนตและมีการเคลือบด้วยโลหะอลูมิเนียม (aluminum) ทำให้มีความหนามากกว่า จึงอาจช่วยชะลอการสูญเสียสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ในระหว่างการเก็บรักษา

จากผลการทดลอง พบว่ามีการลดลงของสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมาจากน้ำหมึกผงที่เติมลงไป ไปยับยั้ง

การเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่จะทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ นอกจากนี้อาจเนื่องมาจาก แสงอาจทำให้เกิดการสลายตัวของสารในน้ำหมึกที่มีสมบัติเป็นสารต้านนอนุมูลอิสระ ทำให้สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขบเคี้ยวที่เก็บในถุง OPP/CPP ซึ่งมีลักษณะใส มีค่าลดลงมากกว่าที่เก็บในถุง OPP/MPET/CPP ซึ่งมีลักษณะทึบแสง

5.4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าความแข็ง ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีค่าความแข็งมากที่สุด เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 มีค่าความแข็งมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0 สัปดาห์ มีค่าความแข็งแตกต่างกับที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4-29) ซึ่งจากภาพที่ 4-24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด ในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wan and Kumar (2016) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขนมขบเคี้ยวในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มพลาสติกต่างกัน 2 ชนิด คือ ฟิล์มชนิด LDPE และ PE/AL/PP พบว่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น และพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลทำให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา ($p<0.05$) โดยความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีค่าลดลงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยฟิล์มชนิด PE/AL/PP ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าความแข็งสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับกับค่าปริมาณความชื้น และค่า a_w อาภัสรา แสงนาค และคณะ (2555)

ได้กล่าวว่า น้ำมีคุณสมบัติเป็นสารที่มีความสามารถลดค่าอุณหภูมิทรานซิชัน (T_g) ของอาหารได้ (pasticizer) เมื่ออาหารมีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิทรานซิชันของอาหารลดต่ำลง ทำให้อาหารมีลักษณะนิ่มขึ้นหรือเรียกสภาวะเหนียวคล้ายยาง (rubbery) จึงส่งผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึก ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด เท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 มีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด เท่ากับ 1.24 มิลลิเมตร แต่ไม่แตกต่างกับขนมขบเคี้ยวที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 มีค่าความแตกเปราะแตกต่างกับที่ระยะเวลาจัดเก็บ 2 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4-29) ซึ่งจากภาพที่ 4-25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าความแตกเปราะที่เพิ่มมากขึ้นนั้น แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างต้องใช้ระยะทางมากขึ้นในการทำให้แตก กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์แตกยากขึ้น มีความกรอบน้อยลง ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับค่าความแข็งที่รายงานไว้ข้างต้น ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลง และจากผลการทดลองที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 12 สัปดาห์นั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีค่าความแตกเปราะต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งผลดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นมากกว่า มีแนวโน้มที่จะมีความกรอบลดลงมากกว่า กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP สามารถคงความกรอบไว้ได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ธวัช นุสนธรา และพิริยะ ศรีเจ้า (2557) ได้กล่าวว่า ฟิล์มพลาสติกโพลิพรอพิลีน (PP) นั้นนิยมนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ชนิด ถุงเย็น หรือถุงร้อน ถุงชั้นในกล่องกระดาษแข็ง เนื่องจากมีลักษณะใส แต่ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกประกบหรือฟิล์มพลาสติกลามิเนตรวมทั้ง พลาสติกที่ผ่านการเคลือบด้วยอลูมิเนียมแล้วนำมาประกบกับฟิล์มพลาสติกอื่น ๆ เช่น PET/MCPP หรือ PET/ MPET/LLDPE

เหมาะสำหรับนำไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ขนมขบเคี้ยว อาหารว่าง เป็นต้น โดยฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ประเภทถุงหรือซองสำาหรับอาหารหรือขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่ จะผลิตจากฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ประกบกันหลายชั้นอาจมี วัสดุอื่น เช่น กระดาษ หรืออลูมิเนียมฟอล์ยมาประกบด้วย เพื่อเพิ่มหรือทำให้สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มพลาสติกดีขึ้น ทั้งในด้านความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำ และความแข็งแรง ดังนั้น ฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้มากกว่า จึงสามารถรักษาคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP

5.4.6 ผลการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ รา ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-30 จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 0-12 สัปดาห์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วงน้อยกว่า $1.0x10^{1}$ - $2.0x10^{1}$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ ปริมาณยีสต์ รา อยู่ในช่วง น้อยกว่า $1.0x10^{1}$ - $5.0x10^{1}$ ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ รา ของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสของอาหาร ที่กำหนดว่าขนมอบที่เติมไส้หรือไม่มีไส้ เช่น บิสกิต แครกเกอร์ เป็นต้น ที่ระบุว่าต้องมีปริมาณจุลิทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า $1.0x10^{4}$ ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสของอาหาร ฉบับที่ 3) การที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ รา ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงมีปริมาณต่ำนั้น อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่วัตถุดิบผ่านสภาวะที่มีความร้อนสูง ความชื้นต่ำ รวมทั้งได้รับแรงเฉือนต่าง ๆ สภาวะต่าง ๆ เหล่านี้อาจไปทำลายจุลินทรีย์ ยีสต์ และรา ได้ และนอกจากนี้ น้ำหมึกผงที่เติมลงในขนมขบเคี้ยวนั้น นอกจากมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแล้ว ยังมีฤทธิ์เป็นสารต้านแบคทีเรียอีกด้วย (Nair et al., 2011; Vate & Benjakul, 2013) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงยังมีปริมาณจุลินทรีย์และปริมาณยีสต์ รา เป็นไปตามที่กำหนดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์

5.4.7 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP (ตารางที่ 4-31) จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักทีละปัจจัยพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ($p \geq 0.05$) เช่นเดียวกับระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อตะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ($p \geq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏมีค่าอยู่ระหว่าง 6.27-6.50 คะแนน เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 12 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่าง ซึ่งได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.27-6.50 คะแนน ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อความชอบด้านกลิ่น เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความชอบด้านกลิ่น ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-33 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นระยะ 0-10 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น ระหว่าง 6.43-6.60 ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ที่ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นเท่ากับ 6.37 แต่ไม่แตกต่างกับที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 สัปดาห์ ซึ่งคะแนนความชอบด้านกลิ่นที่มีค่าแตกต่างกันนั้นอาจเนื่องมาจาก จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก ดังตารางที่ 4-22 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์นั้น เกิดกลิ่นหืนจากปฏิกริยาออกซิเดชันเพียงเล็กน้อย จึงอาจส่งผลให้ผู้บริโภคยังคงให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคะแนนความชอบรับด้านกลิ่นรส ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-34 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติก

ชนิด OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) รวมทั้งเมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลักด้านระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ($p<0.05$) ซึ่งจากตารางที่ 4-35 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสลดลง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-10 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสระหว่าง 6.30-6.48 คะแนน ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสในระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์มีค่าอยู่ระหว่าง 5.93-6.50 คะแนน ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง และจากการพิจารณาปัจจัยหลักตัวที่สอง คือ ชนิดของบรรจุภัณฑ์ภัณฑ์สองชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP เล็กน้อย และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ความชอบด้านกลิ่นรสมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสในระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์มีค่าอยู่ระหว่าง 5.93-6.50 คะแนน ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษานั้นไม่มีผลต้องคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส อาจเนื่องมาจากปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์นั้น มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเกิดกลิ่นหืนเพียงเล็กน้อย จึงทำให้คะแนนความชอบตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ไม่แตกต่างกัน และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ซึ่งสอดคล้องกับ สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (2553) รายงานว่าบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว นิยมใช้ฟิล์มพลาสติกชนิด BOPP+M-CPP หรือ BOPP+M-PET+CPP เนื่องจากจะได้บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันแสงและความชื้นได้ สามารถรักษากลิ่นรสของอาหารได้

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนด้านเนื้อสัมผัส ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-32 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด เท่ากับ 7.40 คะแนน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4-12 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 1.50-5.96 คะแนน โดยอยู่ในระดับไม่ชอบมากที่สุดถึงเฉย ๆ ซึ่งถือว่าได้คะแนนน้อยกว่า 6 คะแนน (ชอบเล็กน้อย) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6-12 สัปดาห์ ได้รับคะแนน

ความชอบด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 3.97-5.97 คะแนน โดยอยู่ในระดับไม่ชอบปานกลาง– เฉย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับกับค่าความแข็งและความแตกเปราะที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งพบว่าที่สิ่งทดลองดังกล่าวมีค่าความแข็งต่ำ และมีค่าความแตกเปราะสูง ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียว ไม่กรอบ ซึ่งอาจเกิดมาจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น และค่า a_w ที่เพิ่มมากขึ้น จึงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อย ซึ่งสอดคล้องกับอาภัสรา แสงนาค และคณะ (2555) ได้กล่าวว่า เมื่ออาหารมีความชื้นสูงมากขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะนิ่มจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านคะแนนความชอบโดยรวม เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-32 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 7.43 คะแนน และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้งชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP มีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่า 6 คะแนน จะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 2 สัปดาห์ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 6 สัปดาห์

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาจากปริมาณความชื้น ค่า TBA สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ลักษณะเนื้อสัมผัส และคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่า ถุงพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP มีความเหมาะสมมากกว่าถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP ในการนำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เนื่องจากสามารถรักษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ให้มีความคงตัวได้มากกว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากฟิล์มพลาสติกลามิเนต ชนิดที่มีการเคลือบด้วยอลูมิเนียมเหมาะสำหรับนำไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ขนมขบเคี้ยว อาหารว่าง เป็นต้น (ธวัช นุสนธรา และพิริยะ ศรีเจ้า, 2557) จึงสามารถช่วยรักษาคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไว้ได้มากกว่าฟิล์มพลาสติกธรรมดา

สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย ได้แก่ การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งด้วยแบบแช่เยือกแข็ง มีความชื้นต่ำที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับร้อยละ 7.17 มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและมีปริมาณโปรตีนสุดที่สุด ($p<0.05$) และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^4$ cfu/g และมีปริมาณโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 3 MPN/g และน้ำหมึกผงที่ได้มีค่าความสว่าง (L*) ต่ำ และมีค่าการละลายสูงสุด ดังนั้นการทำแห้งด้วยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเป็นวิธีการทำแห้งน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เหมาะสมที่สุด

2. จากการศึกษาปริมาณน้ำหมึกที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า ที่ระดับ ร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง พบว่าเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้ มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น สมบัติในการต้านอนุลอิสระ (เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ) สูงขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และค่า L* ลดลง โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีสัดส่วนการพองตัวเท่ากับ 2.86 และมีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด 1.24 mm. และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 7.07 ดังนั้นปริมาณน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ใช้เติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้า

3. จากการศึกษาความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง โดยศึกษาปัจจัยระหว่างความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ 15 20 และ 25) และอุณหภูมิของบาร์เรล (90 100 และ 110 องศาเซลเซียส) พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม มีผลต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นค่าความหนาแน่น ($p\geq0.05$) โดยที่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยสภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส ได้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด 7.00 คะแนน ($p<0.05$) มีสัดส่วนการพองตัวสูง ความแข็งปานกลาง และมีความกรอบสูง ดังนั้น ที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 และอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

4. จากผลการศึกษาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ในระหว่างเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าความแข็ง ค่าความแตกเปราะ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก แต่ไม่มีผลทำต่อปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก ($p \geq 0.05$) และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความชื้น ค่า a_w ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ค่าความแตกเปราะและคะแนนความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/MPET/CPP สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุได้ดีกว่าถุงฟิล์มพลาสติกชนิด OPP/CPP

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาถึงองค์ประกอบของน้ำหมึกเพื่อระบุชนิดของสารที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC เป็นต้น

2. สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกผง อาจมีการพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ดีขึ้น ด้วยการเติมหรือเคลือบสารให้กลิ่นรส

3. ควรมีการตรวจหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำหมึกผงที่เตรียมได้ ทั้งนี้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ที่มีข้อกำหนดระดับของโลหะหนักที่อนุญาตให้มีได้ในกลุ่มมอลสัคส์ เช่น หอยและหมึก กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียม ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

4. ควรมีการตรวจปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคในน้ำหมึกผงที่เตรียมได้ ทั้งนี้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 364) พ.ศ. 2556 เรื่อง มาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค โดยกำหนดมาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลสุก ดังนี้ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 10^6 cfu/g *Staphylococcus aureus* เท่ากับ 10^4 cfu/g และไม่พบ *Salmonella* spp./ 25 กรัม และ *Vibrio parahaemolyticus*/ 25 กรัม

5. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มพลาสติก OPP/CPP และ OPP/MPET/CPP ที่นำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ในด้านของอัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ การส่องผ่านของแสง เป็นต้น เพื่อนำมาอธิบายเพิ่มเติมถึงการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างเวลาการเก็บรักษา

บรรณานุกรม

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

กิตติยา ไชยฉิม และเมธาวี สุนณรงค์. (2555). *ผลของการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปัจจัยในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน.* ปัญหาพิเศษ. ชลบุรี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, รุจิรารัตน์ โดยคำดี และสุวลี จันทร์ชะลอ. (2556). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดอบพองจากแป้งเมล็ดขนุน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 44*(2)(พิเศษ), 201-204.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, สมถวิล จริตควร, อโนชา สุขสมบูรณ์ และวรรธนะภูติ บงกช. (2558). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย*. เข้าถึงได้จาก http://www.lib.buu.ac.th/buuir/research/node/2463

ขวัญจิตต์ อนุกูลวัฒนา. (2557). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวญี่ปุ่นจากข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลืมผัว*. รายงานการวิจัย. เพชรบูรณ์: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี. (2556). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงจากหมึกทะเลที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน.* ปัญหาพิเศษ. ชลบุรี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2550). *การบรรจุอาหาร.* กรุงเทพฯ : เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์.

จริยา ตังพิริยะพงศ์ และชัชวาล หนูสูงเนิน. (2554). *ผลของการเติมสาหร่ายผมนางต่อคุณภาพของพาสต้าจากข้าวเจ้า*. ปัญหาพิเศษ. ชลบุรี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

จุฬาลักษณ์ จารุนุช. (2546). ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ “สแนคข้าวกล้อง”. *อาหาร*, *33*(4), 263-264.

ชลลดา ไร่ขาม. (2556). *การพัฟฟิงกล้วยด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน.* ดุษฎีนิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ชัชวิน เพชรเลิศ. (2549). *ภัยร้ายที่มากับขนมขบเคี้ยว.* ชลบุรี: ภาควิชาชีวเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชาติ ประชาชื่น. (2556, 15 กรกฎาคม). หมึก-น้ำหมึก. *ข่าวสด*, หน้า 24.

ณัฏยา คนซื่อ. (2545). *การพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแก้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล. (ม.ป.ป.). *เอกสารประกอบการเรียน วิชา เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต*. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี, คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธงชัย สวุรรณสิชณน์. (2535). *การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดพรีเจลาติไนซ์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธวัช นุสนธรา และพิริยะ ศรีเจ้า. (2557). การยืดอายุ การเก็บสินค้าอาหารประเภททอดหรืออบกรอบด้วยบรรจุภัณฑ์. *กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 62*(195), 14-17.

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป และจุติญาณี จิตรสุวรรณ. (2554). *การพัฒนากระบวนการผลิตและขึ้นรูปครองแครงกรอบจากแป้งข้าว*. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, คลินิกเทคโนโลยีที่พึ่งของชุมชน, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2543). *เคมีอาหาร*. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิภาพร ว่านม่วง. (2557). *พฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยวของวัยรุ่น*. รายงานการศึกษาปัญหาพิเศษ. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาสุขศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บงกช วรรธนะภูติ. (2555). *อาหารไร้สารกลูเตนและโอกาสของประเทศไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.ostc.thaiembdc.org/test2012/article_April_12

ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. (2547). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 1). *วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย, 11*, 20-22.

ปิยะวรรณ กาสลัก และรัชฎาพร อุ่นศิวิไลย. (2558). *รายงานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมสุขภาพจากถั่วหนัก*. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พรพรรณ ปัญญาภิรมย์. (2558). *4 ผู้ประกอบการ สู้ศึกขนมขบเคี้ยวไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.forbesthailand.com/article_detail.php?article_6

พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์ และสุเทพ อภินันท์จารุพงศ์. (2545). กระบวนการผลตน้ำผักผลไม้รวมผง. *วารสารวิจจัยและพัฒนา มจธ., 25,* 257-277.

พนิดา เริงกมล. (2536). *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องขนมขบเคี้ยวของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปและวิธีบรรยาย.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาอนามัยครอบครัว, คณะสาธารณสุข, มหาวิทยาลัยมหิดล.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *Thiobarbituric acid value (TBA value).* เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/5921/thiobarbituric-acid-value-tba-value

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *Freeze drying/การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.* เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3133/freeze-drying

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา (2550). *การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค.* กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบูลย์ ธรรมรัตนวาสิก. (2532). *กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์.

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์. (2552). *ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (Functional foods).* เข้าถึงได้จาก http://www.sc.mahidol.ac.th/scbt/articles/functional/food-PL-12Oct 09.pdf

มยุรี ภาคลำเจียก. (2536). ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุหีบห่ออาหารว่าง. *วารสารพลาสติก*, *10*(3), 4.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช). (2546). *ปลาร้าผง*. เข้าถึงได้จาก http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช). (2549). *ขนมข้าวกรอบ*. เข้าถึงได้จาก http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2551). *เอกซ์ทรูชัน*. กรุงทพฯ: ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤทธิไกร งามชม (2547). อ้างถึงใน ศิวพร หงส์ทอง และจุติมา สอนดี (2554). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ.* ปัญหาพิเศษ. ชลบุรี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิกิพีเดีย. (2558). *หมึกกล้วย.* เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/หมึก กล้วย#cite_note.E0.

วิภา โรจนะเมธากุล. (2545). การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเพื่อการควบคุมคุณภาพ. *อาหาร, 32*(2), 86-91.

วิลาสินี ดีปัญญา (2557). *การผลิตขนมขบเคี้ยวจากบัวบกเพื่อส่งเสริมการบริโภคในเด็ก*. เพชรบูรณ์: สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศุทธินี ลีลาเหมรัตน์ และศศิธร ตรงจิตภักดี. (2554). *องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกากลูกหม่อน.* กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2553). รู้จักกับฟิล์มลามิเนต (Laminated Films). *Plastics Intelligence Update*, *11*, 1-9.

สันติ หิรัญอร และมาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์. (2551). ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากปลายข้าวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว. *วิศวสารลาดกระบัง*, *25*, 31-39.

สายันต์ รวดเร็ว. (2551). *เรื่องลับ ๆ ของหมึก The secret of squid ink*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodsafetymobile.org/data/J/J-04-51-03.pdf

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2556). *หมึกดำ "คุณค่า" ที่มองไม่เห็น*. เข้าถึงได้จาก http://www.thaihealth.or.th/healthcontent/article/35571

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผงปรุง*. มผช. 494/2547. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.

สุชาดา สังขพันธุ์. (2541). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวตังหน้าตั้งสำเร็จรูปจากเทมเป้ข้าว ถั่วลิสง และงา.* กรุงเทพฯ : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์, คณะวิทยาศาตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

สุธีรา มีภักดี, เพชรดา รัตนสุวรรณ์, นิสานารถ กระแสร์ชล และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2557). การใช้เลือดปลาทนู่าผงเพื่อเสริมโปรตีนและเหล็กในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, *24*, 168-177.

โสภิดา ก่อเกิด. (2555). *ผลของปัจจัยการผลิตโดยกระบวนการเอ็กซทรูชันที่มีต่อสมบัติของขนมขบเคี้ยวที่เป็นแหล่งของไฟเบอร์.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมชีวภาพ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อรพรรณ จันทร์กลับ, ดวงทิพย์ ฉันททวีวงศ์, วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์ และวิชิต อะนะเทพ. (2553). *การเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์ให้กับวัสดุเศษเหลือ (น้ำเลือด) ที่ได้จากกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อโนชา สุขสมบูรณ์, อาภัสรา แสงนาค และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. (2551). *การพัฒนาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง*. ชลบุรี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

อาภัสรา แสงนาค, อัญชลี เรืองเดช, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ. (2555). *รายงานวิจัยโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันจากข้าวหอมนิล*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. (2549). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. กรุงเทพฯ: พี.เอส.พริ้นท์.

AOAC. (2000). *Official method of analysis of AOAC international* (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2003). *Food Sampling/Preparation of Sample Homogenate Chapter 1.* Retrieved from http//:www.fda.moph.go.th

Badrie, N., & Mellowes, W.A. (1991). Texture and microstructure of cassava flour extrudate. *Journal of Food Science, 56,* 1319-1322.

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal Biochem*, *239*, 70-76.

Baljeet, S., Ritika, Y.B., & Mahesh, Y.K. (2011). Suitability of pigeon pea and rice starches and their blends for noodle making. *Food Science and Technology*, *44*, 1415-1421.

Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, *23*, 85-112.

Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A.,Wuttijumnong, P., & Winger, R. (2009). Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT - Food Science and Technology, 42*, 781–787.

Chaing, B. Y., & Johnson, J. A. (1997). Measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and o-toluidine reagent. *Cereal Chem*, *54*(3), 429-435.

Derby, C. D. (2014). Cephalopod Ink: Production, Chemistry, Functions and Applications. *Marine Drugs, 12,* 2700-2730.

Charunuch, C., Tangkanakul, P., Rungchang, S., & Sonted, V. (2008). Application of Mulberry (Morus alba L.) for Supplementing Antioxidant Activity in Extruded Thai Rice Snack. *Kasetsart Journal*, *42*, 79 – 87.

Chinnaswamy, R., & Hanna, M. A. (1990). Macromolecular and functional properties of native and extrusion cooking cornstarch. *Cereal chemistry*, *87*(5), 490-499.

Choi, J.KH., Kim, K.T., & Kim, S.M. (2014). Optimization and biochemical characterization of an enzymatic squid hydrolysate for manufacture of a squid complex seasoning. *Food Sci. Biotechnol*., *23*(2), 417-423.

Demarchi, S. M., Ruiz, N. A. Q., Concellon, A., & Giner, S. A. (2012). Effect of temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple leathers. *Food Bioproducts Processing*, 91(4), 1-9.

Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plonkell, A. G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, *66*, 283-289.

Dziezak, J. D. (1989). Single and twin screw extruders in food processing. *Food Technology*, *14*, 164-174.

Faubion, J. M., & Tsang, R. C. (1982). High temperature short time extrusion cooking on wheat starch and flour II. Effect of protein and lipid on extrudate properties. *Cereal Chemistry*, *59*, 533-536.

Giese, J. (1992). Pasta: New twist on an old product. *Food Technology*, *46*, 118-126.

Giri, S. K., & Bandyopadhyay, S. (2000). Effect of extrusion a variables on extradite characteristics of fish muscle and rice flour blend in a single screw extruder. *Journal of Food Processing Preservation*, *24*, 177-190.

Gomez, M. H., & Aguilera, J. M. (1984). Amylose content and puffed volume of gelatinized rice. *Journal of Food Science*, *49*, 40-43.

Guha, M., Ali, S. Z., & Bhattacharya, S. (1997). Twin extrusion of rice flour without a die : effect of barrel temptation and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering*, *32*, 251-267.

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, *43*, 38-46.

Harper, J. M. (1981). *Extrusion of foods.* Volume I and II, Florida: CRC Press.

Hurtado, S., Dagà, I., Espigulé, E., Parés, D., Saguer, E., Toldrà, M., & Carretero, C. (2012). Use of Porcine Blood Plasma in Phosphate Free Frankfurters. *Procedia–Food Science*, *1*, 477-482.

Ilo, Liu, & Berghofer, E. (1998). Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol, 32*, 79-88.

Jacobs, H., & Delcour, J. A. (1998). Hydrothermal Modification of Granular Starch, with Retention of the Granular Structure : A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*, 2895-2905.

Jongsutjarittam, O., & Charoenrein, S. (2014). The effect of moisture content on physicochemical properties ofextruded waxy and non-waxy rice flour. *Carbohydrate Polymers*, *114*, 133–140.

Kadan, R. S., & Pepperman, A. B. (2002). Physicochemical properties of starch in extruded rice flours. *Cereal Chemistry*, *79*(4), 476-480.

Kaur, S., & Das, M. (2011). Functional foods: An overview. *Food Science Biotechnology*, *20*(4), 861-875.

Kuhr, C. (2001). Snack foods filling and packaging. In E. W. Lusas & L. W. Rooney (Eds.), *Snack foods processing*. USA: CRC Press.

Lee, G. Y., Tsai, M. L., & Tseng, K. H. (1996). Effect of amylose content on the theological property of rice starch. *Cereal Chemistry*, *73*(4), 415-420.

Lee, E. Y., Ryu, G. H., & Lim, S. T. (1999). Effect of processing parameter on physical properties of cornstarch extrudates expanded using supercritical CO_2 injection. *Cereal Chemistry*, *76*(6), 63-69.

Lei, M., Wang, J. F., Pang, L., Wang, Y. M., Chen, S. G., & Xue, C. H. (2007). Effects of sepia on the metabolization of blood lipid and antioxidant ability in hyperlipidemia rats. *Chin Journal Marine Drugs*, *3*, 30–33.

Liu, H., Luo, P., Chen, S., & Shang, J. (2011). Effects of squid ink on growth performance, antioxidant functions and immunity in growing broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 24*, 1752–1756.

McConnell, O., Longley, R. E., Koehn, F. E., & Gullo, V. P. (1994). *The discovery of natural products with therapeutic potential.* Butterworth-Heinemann, Boston.

Michalczyk, M., Macura, R., & Matuszak, I. (2009). The Effect of Air-drying, Freeze-drying and Storage the quality and antioxidant activity of someselected berries. *Journal of Food Processing and Preservation, 33,* 11–21.

Miranda, G., Berna, A., Salazar, D., & Mulet, A. (2009). Sulphur dioxide evolution during dried apricot storage. *LWT-Food Science and Technology, 42,* 531–533.

Mochizuki, A. (1979). An antiseptic effect of cuttlefish ink. *Bull Jpn Soc Sci Fish, 45*,1401–1403.

Nair, J. R., Pillai, D., Joseph, S. M., Gomathi, P., Senan, P. V., & Sherief, P. M. (2011). Cephalopod research and bioactive substances. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, *40*(1), 13-27.

Oates, C. G. (1996). *Physical Modification of starch*. Bangkok: Advanced Post Academic courses on Technology.

Obradovic, V., Babic, J., Subaric, D., Ackar, D., & Jozinovic, A. (2014). Improvement of nutritional and functional properties of extruded food products. *Journal of Food and Nutrition Research, 53,* 189-206.

Pagani, M. A. (1986). Pasta products from non conventional raw materials. In C. Mercier & C. Cantarelli (Eds.), *Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects.* New York: Elsevier applied science.

Panutwat, S. (2004). *Physical modification of low amylose rice (KDML105) flour and starch by extrusion cooking and drum drying*. Bangkok: AIT Center.

Qinqin, C., Zhaolu, L., Jinfeng, B., Linyan, Z., Jianyong, Y., & Xinye, W. (2017). Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. *LWT - Food Science and Technology, 80*, 178-184.

Rajaganapathy, J., Thyagarajan, S. P., & Edward, J. K. (2000). Study on the cephalopod's ink for anti-retroviral activity. *Indian Journal of experimental biology, 38*, 519–520.

Ramasamy, M. S., & Murugan, A. (2005). Potential antimicrobial activity of marine molluscs from Tuticorin, southeast coast of India against 40 biofilm bacteria. *Journal of Shellfish Research, 24*, 243–251.

Sablani, S. (2006). Drying of fruits and vegetables: Retention of nutritional/functional quality. *Drying Technology, 24,* 123–135.

Sacchetti, G., Pinnavaia, G. G., Guidolin, E., & Dalla, M. R. (2004). Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International, 37,* 527–534.

Saeleaw, M., Durrschmid, K., & Schleining, G. (2012). The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering, 110*, 532–540.

Samoticha, J., Wojdyło, A., & Lech, K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. *LWT - Food Science and Technology*, *66,* 484-489.

Sangnark, A., Limroongreungrat, K., Yuenyongputtakal, W., Ruengdech, A., & Siripatrawan, U. (2015). Effect of Hom Nil rice flour moisture content, barrel temperature and screw speed of a single screw extruder on snack properties. *International Food Research Journal*, *22*(5), 2155-2161.

Schuler, E. W. (1986). Twin Screw Extrusion Cooking systems for Food Processing. *Cereal Food World*, *30*(6)*,* 413-416.

Sharma, P., Gujral, H. S., & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry, 131*, 1406-1413.

Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Food World, 42*(1), 8-12.

Smith, L. B. (2015). *What Are the Benefits of Squid Ink?*. Retrieved from http://www.livestrong.com/article/490032-what-are-the-benefits-of-squid-ink/.

Sriburi, P., & Hill, S.E. (2000). Extrusion of cassava starch with either variation in ascorbic acid concentration or pH. *Internation Journal of Food Science and Technology, 35*, 141-154.

Takai, M., Kawai, Y., Inoue, N., & Shinano, H. (1992). Comparative studies on microbiological and chemical characteristics of Ika-shiokara akazukuri and Ika-shiokara kurozukuri. *Bulltein of the Japanese Society of Fisheries Science, 58,* 2373–2378.

Vate, N. K., & Benjakul, S. (2013). Antioxidative activity of melanin-free ink from splendid squid (*Loligo formosana*). *International Aquatic Research*, *5*(9), 1-12.

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Clavería, R., Quispe, I., Vergara, J., Uribe, E., Paez, H., & DiScala, K. (2011). Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (Dosidicus gigas). *LWT-Food Science & Technology, 44*, 16–23.

Voragen, A. G. J. (1996). *Specific Application of Tapioca Starch*. Advanced Post Academic Courses on Technology. Bangkok: AIT Center.

What when how. (n.d.). *FOOD BROWNING.* Retrieved from http://what-when-how.com/food-colors/food-browning/

Wikipedia. (2016). *Cephalopoda*. Retrieved from https://yhsbiology.wikispaces.com/ Cephalopoda

Zobel, H. F., Young, S. N., & Rocca, L. A. (1988). Starch gelatinization: an X-ray diffraction study. *Cereal Chem*, *65*, 443-446.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. โถดูดความชื้น
3. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

1. อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2. นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้น (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผง และขนมขบเคี้ยว ให้ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละประมาณ 5 กรัม) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักที่คงที่แล้ว

4. นำไปอบในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5–6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งไม่เกิน 0.05 กรัม (ทำการทดลองการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของในแต่ละตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{W1}$$

กำหนดให้ W1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน

3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

5. ปิเปต (แบบกระเปราะ) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร

6. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร

7. ลูกแก้ว

สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.H_2O$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1:10

2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40

4. กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4

5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 N

6. อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรต เมธีลีนบลู และโบรโมครีซอลกรีน

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผงให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม และตัวอย่างขนมขบเคี้ยวประมาณ 3 กรัม) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน

2. ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัมและเติมกรดซัล
ฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร

3. วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

4. เปิดสวิทซ์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส

5. ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

1. จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

2. นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3. เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด

4. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอ สังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

5. กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร

6. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อนหรือใส และคำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times F}{W2}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ แฟคเตอร์ (6.25)

W1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น – น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)

ก-3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดไขมัน
2. ทิมเบิ้ล
3. ตู้อบลมร้อน
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น
6. กระดาษกรองปราศจากไขมัน

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. อบขวดสกัดไขมันที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนักจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) (a)

3. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผง และตัวอย่างขนมขบเคี้ยว ใช้ตัวอย่างละประมาณ 5 กรัม) (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

4. ห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองและใส่ลงในทิมเบิล และใส่ลงไปในขวดสกัดที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร และต่อเข้ากับชุดเครื่องสกัดไขมัน ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 4 ชั่วโมง

5. ให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง

11. เมื่อปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยออกหมดแล้ว อบขวดสกัดด้วยตู้อบลมร้อน ทิ้งขวดสกัดให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (b) นำมาคำนวณได้ดังสมการ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(W1) \times 100}{W2}$$

กำหนดให้ W1 คือ น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ คิดเป็น b – a (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักตัวอย่า (กรัม)

ก-4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. เตาเผา
3. เตาไฟฟ้า
4. ถ้วยครูซิเบิ้ล
5. โถดูดความชื้น
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

1. อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. เผาด้วยครูซิเบิ้ลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง รอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

3. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักให้ได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

4. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผงให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม, ตัวอย่างพาสต้าประมาณ 3 กรัม และตัวอย่างขนมขบเคี้ยวประมาณ 3 กรัม) ใส่ในถ้วยครูซิเบิ้ลที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน

5. นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนกระทั่งควันสีดำหมด แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเถ้า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ของเถ้าทั้งหมดในตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(W2 - W1) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

กำหนดให้ W1 = น้ำหนักถ้วย (กรัม)

W2 = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

ก-5 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบโดยรวมประมาณ (proximate analysis) ของตัวอย่างน้ำหมึกผง พาสต้า และขนมขบเคี้ยว จะต้องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า ของตัวอย่างแต่ละชนิดก่อน แล้วจึงหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างแต่ละชนิดได้ สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด คือ ส่วนที่เหลือโดยผลต่าง โดยวิธีคำนวณมีดังนี้

การคำนวณ

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า})$$

ก–6 การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง พร้อมกระดาษกรองสาร No.2
5. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
6. ไมโครปิเปต
7. หลอด vival
8. ตะแกรงร่อน 50 เมช
9. เครื่องบด
10. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixture Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี)
11. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic รุ่น Genesys 20 ประเทศอเมริกา)

สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol : CH_3CH_2OH) ร้อยละ 95 ประเทศไทย
2. เมทานอล (Methanol)
3. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1picrylhydrazyl (DPPH) : $C_{18}H_{12}N_5O_6$) ร้อยละ 90 บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน

การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลาย DPPH 0.15 มิลลิโมล โดยชั่งสาร DPPH 0.0059 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

การสกัดตัวอย่างน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

โดยชั่งตัวอย่าง 5 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล โดยสารสกัดตัวอ่างน้ำหมึกผงที่เตรียมได้จะมีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

การสกัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองกรอบ (ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี, 2556)

ทำการสกัดตัวอย่างตามวิธีที่ดัดแปลงจาก ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) โดยนำตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ได้มาบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 50 เมช ชั่งตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่บดละเอียด 2 กรัม ใส่หลอดหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 40 มิลลิลิตร กรัม และเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดหมุนปั่นเหวี่ยงที่ 10000 g เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยสารสกัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองกรอบที่เตรียมได้จะมีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างที่สกัดได้มา 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย 0.15 มิลลิโมล DPPH 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2. ทำให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม ทิ้งให้ทำปฏิกิริยาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3. เมื่อครบเวลา นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยทำการปั่นผสมให้เข้ากันก่อนวัดค่าการดูกลืนแสง (ในตัวอย่างของ Blank ใช้เมทานอล 1 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างสารสกัดตัวอย่าง)

การคำนวณ

เปอร์เซ็นการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (%Inhibition) คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\%\text{Inhibition (ร้อยละ)} = [(A0 - A1) / A0] \times 100$$

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity)

รายงานเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox ตามวิธีของ Vate and Benjakul (2013) ในหน่วย μmolTE/g โดยคำนวณจากสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox ที่ความเข้มข้น 10-50 μmolTE/g

การสร้างกราฟมาตรฐาน Trolox

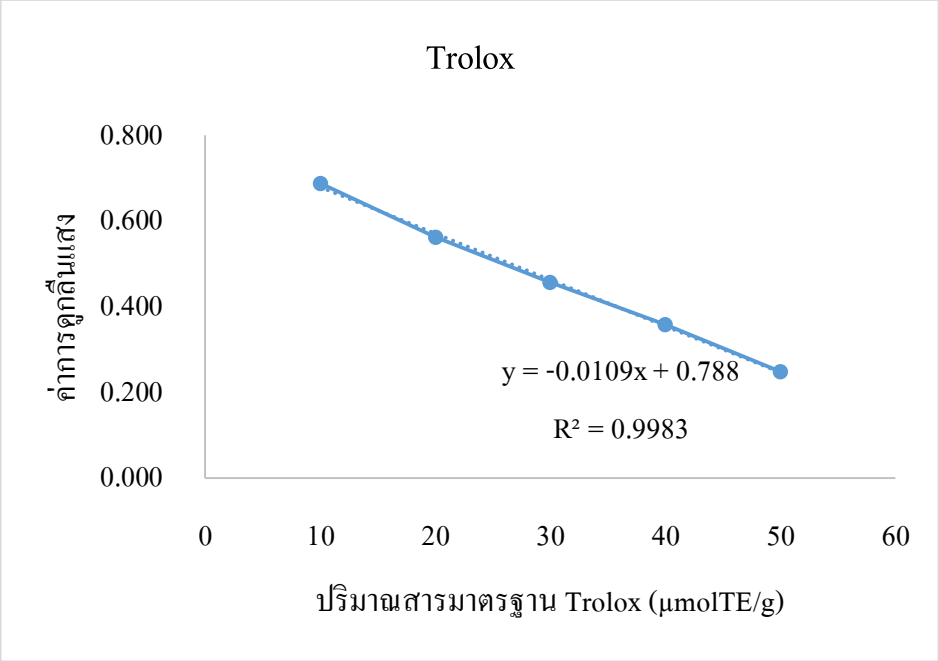
1. เตรียมสารละลาย Trolox 50 µmolTE/g ปริมาตร 250 มิลลิลิตร (เตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox ในสารละลายเอทานอล)

2. เจือจางสารละลายมาตรฐาน Trolox ให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 40 และ 50 µmolTE/g

3. ปิเปตสารละลาย Trolox ในแต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองแยกแต่ละความเข้มข้น

4. เติมสารละลาย 0.15 mM DPPH 1 มิลลิลิตร ทำให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม ทิ้งไว้ให้ทำ ปฏิกิริยาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน X) และค่าความเข้มข้นของ Trolox (แกน Y)



ภาพภาคผนวก ก-1 กราฟมาตรฐานค่าความเข้มข้นของ Trolox และค่าการดูดกลืนแสง

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 mg/ml) วัดค่าการดูดลืนแสงได้เท่ากับ 0.381

จากกราฟมาตรฐานได้สมการ คือ $y = -0.0109x + 0.788$

แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง $0.381 = -0.01091x + 0.788$

$X = 37.34$ µmolTE/g

<u>การคำนวณตัวอย่างโดยเทียบน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์</u>

สารละลายตัวอย่าง 100 ml มีตัวอย่างน้ำหมึกผง 5 g

ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 1 ml มีตัวอย่างน้ำหมึกผง $(5 \times 1)/100 = 0.05$ g

ดังนั้น จากตัวอย่างสารสกัดน้ำหมึกผงที่ปิเปตมา 1 มิลลิลิตร มีน้ำหมึกผงอยู่ 0.05 กรัม

ตัวอย่างน้ำหมึกผง 0.05 g มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH 37.34 µmolTE/g

ถ้าตัวอย่างน้ำหมึกผง 100 g จะมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH

$= (37.34 \times 100)/0.05$ µmolTE/g

$= 746.69$ µmolTE/g

<u>การคำนวณค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเทียบน้ำหนักตัวอย่างฐานแห้ง</u>

เนื่องจากตัวอย่างน้ำหมึกผงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ มีความชื้นรวมอยู่ด้วย ดังนั้นการคำควณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูปน้ำหมึกฐานแห้งสามารถคำนวณได้ดังนี้

น้ำหมึกผง 100 กรัม มีความชื้นรวมอยู่ 9.48 กรัม และมีน้ำหนักตัวอย่างฐานแห้ง $100 - 9.48 = 90.52$ กรัม

น้ำหมึกผง 100 กรัม มีน้ำหนักตัวอย่างฐานแห้ง 90.52 กรัม

ถ้าตัวอย่าง 5 กรัม จะมีน้ำหนักตัวอย่างฐานแห้ง $= (90.52 \times 5)/100 = 4.29$ กรัม

จากตัวอย่างน้ำหมึกผง 4.29 กรัม สามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH 746.69 µmolTE/g

ถ้าตัวอย่างน้ำหมึกผง 5 กรัม จะสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH $= (746.69 \times 5)/4.29$

$= 870.27$ µmolTE/g

ดังนั้น จะได้ว่าตัวอย่างน้ำหมึกผงที่อบแห้งด้วยวิธีการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 870.27 µmolTE/g

ก–7 การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ferric Ion reducing antioxidant power (FRAP) assay)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง พร้อมกระดาษกรองสาร No.2
5. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
6. ไมโครปิเปต
7. หลอด vival
8. ตะแกรงร่อน 50 เมช
9. เครื่องบด
10. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixture Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี)
11. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic รุ่น Genesys 20 ประเทศอเมริกา)

สารเคมี

1. เมทานอล (methanol)
2. โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate : $C_2H_3NaO_2$ / CH_3COONa)
3. กรดแอซิติก (acetic acid : CH_3COOH)
4. 2,4,6–Tripyridyl-s-triazine (TPTZ)
5. กรดไฮโดรคอริก (hydrochloric acid : HCL)
6. เฟอร์ริคคลอไรด์ (ferric chloride : $FeCl_3.6H_2O$)
7. Trolox

การเตรียมสารละลาย

1. 300 mM acetate buffer pH. 3.6 (Benzie & strain, 1996)

โดยชั่ง โซเดียมอะซิเตท 3.1 กรัม ผสมกับกรดแอซิติก 16 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นโดยใช้ขวดปรับปริมาตร

2. FRAP Solution

ผสม 300 mM acetate buffer pH. 3.6 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับ 10 mM TPTZ solution ที่เจือจางใน 40 mM HCL ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และ 20mM $FeCl_3.6H_2O$ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายผสมไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

การสกัดตัวอย่างน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย (Vate & Benjakul, 2013)

เตรียมตัวอย่างน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยให้ได้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่าง 5 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล

การสกัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองกรอบ (ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี, 2556)

สกัดตัวอย่างตามวิธีที่ดัดแปลงจาก ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) โดยนำตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ได้มาบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 50 เมช ชั่งตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่บดละเอียด 2 ใส่หลอดหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 40 มิลลิลิตรกรัม และเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดหมุนปั่นเหวี่ยงที่ 10000 g เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ (Vate & Benjakul, 2013)

1. ปิเปตตัวอย่างที่ได้มา 150 ไมโครลิตร และสารละลาย FRAP 2850 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง

2. ทำให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม ทิ้งให้ทำปฏิกิริยาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3. นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm

4. เปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน Trolox ความเข้มข้น 0-500 µmolTE/g และรายงานค่าในรูป µmol TE/g

การสร้างกราฟมาตรฐาน Trolox

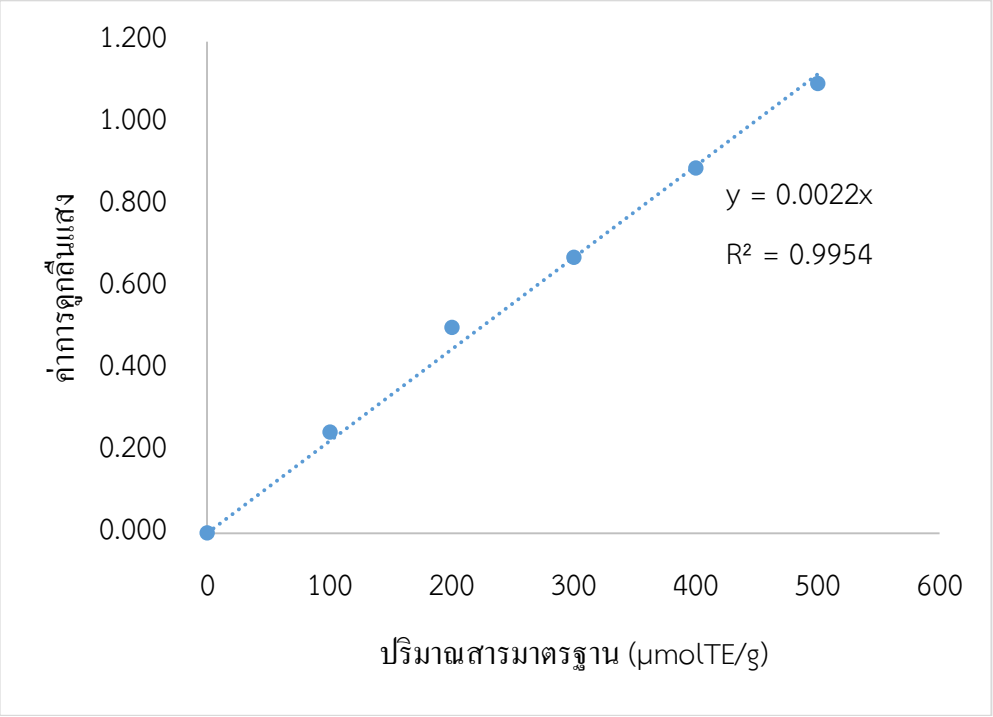
1. เตรียมสารละลาย Trolox 500 µmolTE/g ปริมาตร 250 มิลลิลิตร (เตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox ในสารละลายเอทานอล)

2. เจือจางสารละลายมาตรฐาน Trolox ให้มีความเข้มข้น 0 100 200 300 400 และ 500 µmolTE/g

3. ปิเปตสารละลาย Trolox ในแต่ละความเข้มข้นมา 150 ไมโครลิตร ใส่หลอดทดลองแยกแต่ละความเข้มข้น

4. เติมสารละลาย สารละลาย FRAP 2850 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง ทำให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม ทิ้งไว้ให้ทำ ปฏิกิริยาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน X) และค่าความเข้มข้นของ Trolox (แกน Y)



ภาพภาคผนวก ก-2 กราฟมาตรฐานค่าความเข้มข้นของ Trolox และค่าการดูดกลืนแสง

ก-8 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก Thiobarbituric acid (TBA) (Pearson, 1976)

สารเคมี

1. สารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริก

เตรียมโดย ละลายกรดไทโอบาร์บิทูริก 2.883 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 90% โดยอุ่นเบา ๆ แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 90 %

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 โมลาร์

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างขนมขบเคี้ยว 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่น แล้วเทตัวอ่างใส่หลอดกลั่น ล้างตัวอย่างที่เหลือในเครื่องปั่นด้วยน้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตร แล้วนำมาเทรวมกันในหลอดกลั่น

2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 4 โมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเป็นกรด – ด่าง 1.5 จากนั้นทำการเติมสารป้องกันการเกิดฟองเล็กน้อย แล้วต่อหลอดกลั่นเข้ากับชุดกลั่น

3. ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยการต้มในเตาไฟฟ้า กลั่นจนได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร (ภายใน 10 นาทีหลังเดือด)

4. ปิเปตของเหลวที่ได้มา 5.0 มิลลิลิตร ใส่หลอดที่มีฝาปิด จากนั้นเติมสารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริกจำนวน 5.0 มิลลิลิตร ปิดฝา เขย่า แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 35 นาที

5. เทน้ำกลั่น 5.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแทนตัวอย่างเพื่อทำ Blank นำไปต้มพร้อมกัน

6. หลังจากครบ 35 นาที แล้ว ให้นำไปทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิห้อง (ภายในระยะเวลา 10 นาที) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร คำนวณปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกตามสมการ ต่อไปนี้

ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก = 7.8 x ค่าการดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตร
(มิลลิกรัมมาโลนาดีไฮด์/กิโลกรัม)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผง

ข-1 การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผง

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของน้ำหมึกผง ด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

การวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (calibration) โดยการวางบนแผ่นสำหรับ calibrate สีขาวและสีดำบนหัววัด แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดค่าสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวและสีดำของแผ่นสำหรับ calibrate ไว้

2. นำตัวอย่างน้ำหมึกผงใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่เต็มภาชนะ ไม่ให้มีช่องว่างที่แสงผ่านได้ โดยเคาะภาชนะให้น้ำหมึกผงกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ข-2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำหมึกผง (ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Prakongpan et al., 2002)

การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักของกระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร บันทึกปริมาตร

2. ใส่ตัวอย่างน้ำหมึกผงลงในกระบอกตวง เขย่าเบาๆ ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักและบันทึกปริมาณ

การคำนวณ

ความหนาแน่นจากสูตร $D = M/V$

กำหนดให้ D = ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)

M = น้ำหนักของน้ำหมึกผง (กรัม)

V = ปริมาตรของน้ำหมึกผง (มิลลิลิตร)

ข-3 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำหมึกผง (ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Fermandez, 2003)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหมึกผง 5 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
3. หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวด้านบน (supernatant) กับตะกอนตัวอย่าง ให้นำ supernatant ใส่ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง

การคำนวณ

ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัม/100 กรัม)

$$= \frac{\text{มวลแห้งของตัวอย่างที่ละลายใน supernatant (กรัม)} \times 100}{\text{มวลแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (กรัม)}}$$

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยว

ข-4 การวิเคราะห์ค่าสีของขนมขบเคี้ยว

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของขนมขบเคี้ยว ด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

การวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (calibration) โดยการวางบนแผ่นสำหรับ calibrate สีขาวและสีดำบนหัววัด แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดค่าสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวและสีดำของแผ่นสำหรับ calibrate ไว้
2. นำตัวอย่างขนมขบเคี้ยวเรียงใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีทีละชิ้น โดยเรียงให้เต็มภาชนะ และเรียงสลับแนวกันในแต่ละชั้น ซ้อนกันจนเต็มภาชนะ เพื่อไม่ให้มีช่องว่างที่แสงผ่านได้
3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งบอกค่าดังนี้

   L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ข-6 การวิเคราะห์ค่าดัชนีการละลายน้ำและค่าการดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยว (Anderson et al., 1969)

การวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างขนมขบเคี้ยว 2.5 กรัม ที่ผ่านการบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมซ ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีฝาและทราบน้ำหนักแน่นอนเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยคนด้วยแท่งแก้ว และคนทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที
2. ล้างส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วลงในหลอดหมุนเหวี่ยงโดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 2200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
3. เทส่วนใสลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณดัชนีการละลายน้ำ และชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือในหลอดหมุนเหวี่ยง เพื่อคำนวณค่าการดูดซับน้ำดังนี้

การคำนวณ

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ข-7 การวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยว (ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sangnark et al., 2015)

การวิเคราะห์

ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดและคำนวณสัดส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกับเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางออกที่หน้าแปลนของเอกซ์ทรูเดอร์ โดยคำนวณดังนี้

การคำนวณ

สัดส่วนการพองตัว = $\frac{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์}}{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางออกที่หน้าแปลน (Die)}}$

ข-8 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของขนมขบเคี้ยว (ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Alvarez-Martinez และคณะ, 1988)

ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้ดังนี้

ความหนาแน่น (กรัม/เซนติเมตร^3) = $\frac{4m}{\pi d^2 L}$

เมื่อ m = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (เซนติเมตร)

L = ความยาวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (เซนติเมตร)

โดยความหนาแน่นหาได้จากหาค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ 10 ครั้ง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ข-10 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว

การวัดความแข็ง (hardness) และ ความแตกเปราะ

วัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (hardness) และ ค่าความแตกเปราะ (fractulability) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ ใช้หัววัด HDP/3PB ค่าความแข็งที่วัดรายงานในหน่วย g. และค่าความแตกเปราะที่วัดได้รายงานในหน่วย mm.

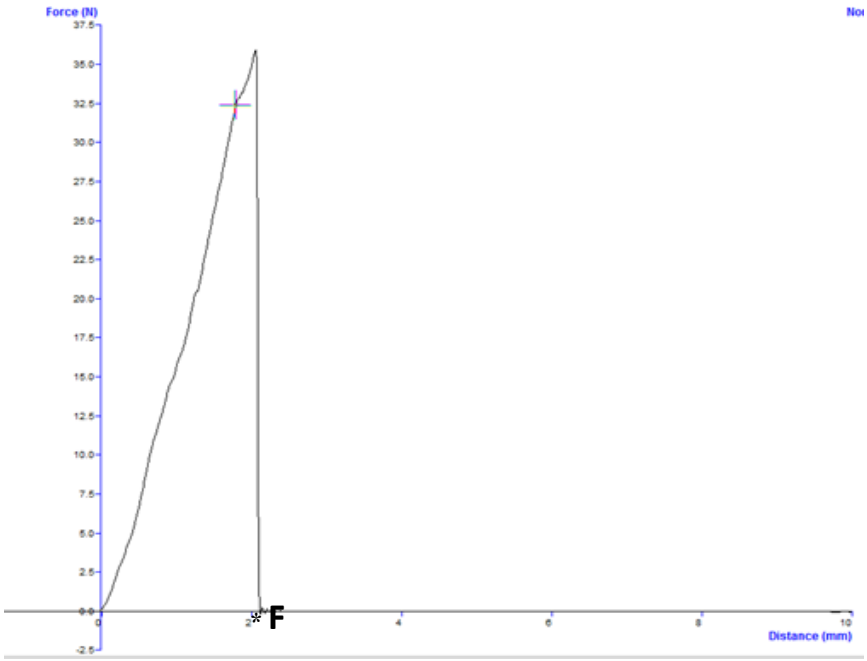
<u>เตรียมตัวอย่างขนมขบเคี้ยว</u>

ใช้ขนมขบเคี้ยวรูปแท่งกลม ขนาดยาว 40±3 มิลลิเมตร การวัดจะวางตัวอย่างบนแท่นกดครั้งละ 1 ชิ้น ใช้หัววัด HDP/3PB โดยต่อเข้ากับแขนสำหรับต่อหัววัดของเครื่อง วัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

Option	Measure force in com
Pre-Test speed	1.0 mm/s
Test speed	1.0 mm/s
Post-Test speed	10.0 mm/s

Distance	10 mm
Trigger Type	Auto-5
Data-Acquisiting Rate	200 pps

ภาพภาคผนวก ข-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) และ ค่าความแตกเปราะ (fractulability) ด้วยหัววัด HDP/3PB



ภาพภาคผนวก ข-2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะ

ข-11 การวิเคราะห์ค่า Water activity (a_w)

วิเคราะห์ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่า a_w NOVASINA รุ่น AWC water activity center โดยทาการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า a_w มีดังนี้

วิธีวัดค่า a_w ของตัวอย่าง

ตั้งอุณหภูมิในการอ่านค่าตามที่ต้องการปรับปุ่มสีเหลืองให้อยู่หมายเลข 1 นำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง (Sample cup) ปริมาณของตัวอย่าง 3 ใน 4 ของความจุของถ้วย และตัวอย่างต้องไม่สูงเกินขอบภาชนะโดยเด็ดขาด

1. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น
2. เปิดฝาตัวอย่างออก แล้ววางลงใน Chamber ปิดด้วยฝาครอบทองเหลือง พร้อมหมุนตามเข็มนาฬิกา ปิดฝาเครื่อง Novasina
3. รอจนกระทั่งหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิที่ต้องการ และเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่างกระพริบพร้อมกัน 4 อัน เมื่อเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่างกระพริบพร้อมกัน 4 อัน เริ่มจับเวลาประมาณ 10 นาที จึงบันทึกค่า aw และอุณหภูมิ
4. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น นำภาชนะบรรจุออกจาก Chamber

5. เมื่อเลิกใช้งาน ให้วางถ้วยตัวอย่างที่บรรจุ Silica gel ลงใน Chamber แล้วจึงปิดฝาเครื่อง Novasina

ข-12 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของขนมขบเคี้ยว

ศึกษาโครงสร้างภายใน ลักษณะตัดขวางของขนมขบเคี้ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, LEO 1450 VP, LEO, England) โดยฉาบตัวอย่างขนมขบเคี้ยวด้วยโลหะหนัก แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดในช่วงความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ที่กำลังขยาย 8 และ 50 เท่า (Deng & Zhao, 2008)

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ค-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Compact Dry TC, Nissui Pharmaceutical, Japan)
2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meducai Limited, England)
2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)
3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างผงใยอาหาร 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม Peptone Water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมนาน 1 นาที จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1}
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1. มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดที่บรรจุสารละลาย Peptone Water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2}
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 จนได้ความเจือจาง 10^{-3}
4. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ความเจือจาง10^{-1}มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป แล้วรีบปิดฝาถาดอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป
5. ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 จนครบสารละลายตัวอย่างที่ความเจือจาง 10^{-2}และ 10^{-3}
6. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
7. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีแดงทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจาง และรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด (Yousef & Carlstrom, 2003) ได้ตามสูตร ดังนี้

โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/1 g) = n x df

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

Df คือDilution Factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อในถาดที่หาค่า n ได้

7.1 หากทุกความเจือจางมีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง1-15 โคโลนี ให้รายงานผลการตรวจนับโคโลนีที่ความเจือจางต่ำที่สุด ในรูปของโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และให้ให้เขียนคำว่า est.ต่อท้าย

7.2 หากไม่ตรวจพบจำนวนโคโลนีเลยในจำนวน3 ซ้ำ ให้รายงานว่า<1.0 x (dilution ที่ความเจือจางต่ำที่สุด)

7.3 หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนักให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 300 โคโลนีเกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตรแล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่องแบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีมากจนไม่สามารถนับได้ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ค-2 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform) (BAM, 2002)

หาปริมาณโคลิฟอร์มและ *E. coli* โดยวิธี MPN แบบดั้งเดิม โดยมีวิธีการดังนี้

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อเติม ร้อยละ 0.1 Peptone water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมอาหาร นาน 2 นาที จะได้ความเจือจาง 10^{-1}

2. ปิเปตตัวอย่างจากข้อ 1 มา 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดที่บรรจุสารละลายร้อยละ 0.1 Peptone water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จะได้ความเจือจาง 10^{-2}

3. เจือจางตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2) จะได้ความเจือจาง 10^{-3}

การทดสอบขั้นต้น

1. ปิเปตตัวอย่างในแต่ละความเจือจาง (10^{-1} 10^{-2} และ 10^{-3}) ลงในหลอดอาหาร LST ที่มีหลอดดักก๊าซคว่ำอยู่ (ให้สังเกตว่าต้องไม่ฟองอากาศอยู่ในหลอดดักก๊าซ) ระดับความเจือจางละ 3 หลอด รวมทั้งหมด 9 หลอด

2. นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

3. ถ่ายเชื้อจากหลอดที่บรรจุอาหาร LST ที่ให้ผลบวก (เกิดที่ว่างในหลอดดักก๊าซมากกว่า 1/10 ของหลอด) ด้วยลูปเขี่ยเชื้อลงในอาหาร BGLB หลอดละ 1 ลูป

4. นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

5. ตรวจสอบหลอดทดลองที่ให้ผลบวก นำไปอ่านจากตาราง MPN และรายงานผลเป็นค่า “จำนวน Coliform ทั้งหมด MPNต่อกรัม”

ค-3 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธีการนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อยีสต์และรา (Compact Dry YM, Nissui Pharmaceutical, Japan)
2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meducai Limited, England)
2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)
3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวกที่ง-1 ในข้อที่ 1-5
2. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
3. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีฟ้าเขียวอ่อน (Light Bluish Green) ทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจางและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด เช่นเดียวกันกับภาคผนวก ง-1

ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนักให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 150 โคโลนีเกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตรแล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่องแบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีมากจนไม่สามารถนับได้ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ตารางภาคผนวก ค -1 ตาราง MPN

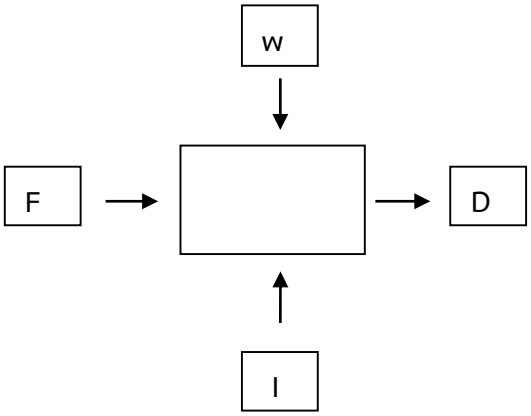
Direct examination:

Number of positive tubes				Number of positive tubes			
3Three 10 ml tubes	Three 1 ml tubes	Three 0.1 ml tubes	Probable number in 100 ml	3Three 10 ml tubes	Three 1 ml tubes	Three 0.1 ml tubes	Probable number in 100 ml
10	1	0.1		10	1	0.1	
0	0	0	<3	2	0	0	9
0	0	1	3	2	0	1	14
0	0	2	6	2	0	2	20
0	0	3	4	2	0	3	26
0	1	0	3	2	1	0	15
0	1	1	6	2	1	1	20
0	1	2	4	2	1	2	27
0	1	3	12	2	1	3	24
0	2	0	6	2	2	0	21
0	2	1	4	2	2	1	28
0	2	2	12	2	2	2	35
0	2	3	16	2	2	3	46
0	3	0	9	2	3	0	26
0	3	1	12	2	3	1	36
0	3	2	16	2	3	2	44
0	3	3	19	2	3	3	52
1	0	0	4	3	0	0	23
1	0	1	7	3	0	1	39
1	0	2	11	3	0	2	64
1	0	3	15	3	0	3	95
1	1	0	7	3	1	0	43
1	1	1	11	3	1	1	75
1	1	2	15	3	1	2	120
1	1	3	16	3	1	3	160
1	2	0	11	3	2	0	93
1	2	1	15	3	2	1	150
1	2	2	20	3	2	2	220
1	2	3	24	3	2	3	290
1	3	0	11	3	3	0	240
1	3	1	26	3	3	1	460
1	3	2	24	3	3	2	1100
1	3	3	26	3	3	3	>1100

www.tumc.blog.com / www.tumc.mihanblog.com / www.tumc.blogsky.com

ภาคผนวก ง

การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในส่วนผสม



F = Flour (แป้งข้าวเจ้า)

W = Water (น้ำ)

I = Ink squid (น้ำหมึกผง)

D = ส่วนผสม

ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติแป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ 12 น้ำหมึกผงมีความชื้นร้อยละ 9 และต้องส่วนผสมที่มีความชื้นร้อยละ 15 ใช้แป้งข้าวเจ้า 100 กรัม และน้ำหมึกผง 2.5 กรัม

Moisture balance : $F + U + W = D$

$100\ (0.12) + 2.5\ (0.09) + W = (100 + 2.5 + W)0.15$

แก้สมการหาค่า W จะได้ $W = 3.71$

ดังนั้นจะต้องเติมน้ำ 3.71 กรัม จึงจะได้ส่วนผสมที่มีความชื้นร้อยละ 15

ภาคผนวก จ

แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จ-1 แบบทดสอบความเข้มของค่าคุณภาพต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยวิธี Scoring

(หาปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย)

รหัสผู้ทดสอบ…… วันที่……

ผลิตภัณฑ์ : ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทั้งหมด 5 ตัวอย่าง กรุณาชิมตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความเข้มของค่าสีดำ กลิ่นคาว กลิ่นรสหมึก ความกรอบ และความแข็ง ที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดย

1 = น้อยที่สุด 2 =น้อย 3 = ปานกลาง 4 =มาก 5 = มากที่สุด

ค่าคุณภาพ	คะแนนความเข้ม				
	……..	……..	……..	……..	……..
ลักษณะปรา					
กลิ่นคาว					
กลิ่นรสปลาหมึก					
ความแข็ง					
ความกรอบ					

ข้อเสนอแนะ

……

……

ขอขอบคุณในความร่วมมือ

จ-4 แบบทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยโดยวิธี 9 – point hedonic scale

(ศึกษาหาปริมาณน้ำหมึกผง และสภาวะการของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย)

รหัสผู้ทดสอบ…….. วันที่……

ผลิตภัณฑ์ : ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว กรุณาชิมตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความชอบในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดย

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

ค่าคุณภาพ	คะแนนความชอบ				
	……..	……..	……..	……..	……..
ลักษณะปรากฏ					
สี					
กลิ่น					
กลิ่นรส					
เนื้อสัมผัส					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอขอบคุณในความร่วมมือ

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวก ฉ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	20.458	2	10.229	169.585	0.000[sig]
Error	0.362	6	0.060		
Total	20.820	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	4.356	2	2.178	498.626	0.000[sig]
Error	0.026	6	0.004		
Total	4.382	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	0.000	2	0.000	1.998	0.216[ns]
Error	0.000	6	0.000		
Total	0.000	8			

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

ตารางภาคผนวก ฉ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเถ้าของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	0.834	2	0.417	4.877	0.055[ns]
Error	0.513	6	0.086		
Total	1.347	8			

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	9.025	2	4.512	42.623	0.000[sig]
Error	0.635	6	0.106		
Total	9.660	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	245.650	2	122.825	118.354	0.000[sig]
Error	6.227	6	1.038		
Total	251.877	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	277400.568	2	138700.284	191.175	0.000[sig]
Error	4353.083	6	725.514		
Total	281753.651	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	436492.195	2	218246.097	286.349	0.000[sig]
Error	4573.003	6	762.167		
Total	441065.197	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	58.231	2	0.006	0.967	0.000[sig]
Error	0.048	6	0.006		
Total	75.693	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตาตารางภาคผนวก ฉ-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	0.013	2	0.006	0.967	0.421[ns]
Error	4573.003	6	762.167		
Total	875.693	8			

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	4.380	2	4.380	1789.057	0.000[sig]
Error	0.020	6	0.002		
Total	8.646	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการละลายของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	7.459	2	3.729	1523.256	0.000[sig]
Error	0.020	6	0.0002		
Total	8.646	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนาแน่นของน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Drying	245.650	2	122.825	118.354	0.000[sig]
Error	6.227	6	1.038		
Total	251.877	8			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	151.536	4	37.884	97.719	0.000[sig]
Error	3.877	10	0.388		
Total	155.412	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	53.605	4	13.401	229.634	0.000[sig]
Error	0.584	10	0.058		
Total	54.188	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	463906.786	4	115976.697	118.354	0.000[sig]
Error	5049.614	10	504.961		
Total	468956.401	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	3268044.049	4	817011.012	109.843	0.000[sig]
Error	74380.150	10	7438.015		
Total	3342424.199	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	9351.208	4	2337.802	205070.355	0.000[sig]
Error	0.114	10	0.011		
Total	9351.322	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	2.261	4	0.565	12.743	0.001[sig]
Error	0.444	10	0.044		
Total	2.704	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	311.723	4	77.931	905.400	0.000[sig]
Error	0.861	10	0.086		
Total	312.584	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่น ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	0.046	4	0.011	207.404	0.000[sig]
Error	0.001	10	0.000		
Total	0.046	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัดส่วนการพองตัว ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	1.322	4	.331	25.733	0.000[sig]
Error	.128	10	.013		
Total	1.451	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	37.265	4	9.316	4.149	0.031[sig]
Error	22.452	10	2.245		
Total	59.717	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	5.004	4	1.251	4.005	0.034[sig]
Error	3.124	10	.312		
Total	8.128	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	1.124E7	4	2809541.903	1142.347	0.000[sig]
Error	24594.471	10	2459.447		
Total	1.126E7	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	1590.948	4	397.737	4511.493	0.000[sig]
Error	0.882	10	0.088		
Total	1591.829	14			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีดำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	235.640	4	58.910	167.654	0.000 [sig]
block	31.340	29	1.081	3.076	0.000 [sig]
Error	40.760	116	.351		
Total	1863.000	150			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นคาว ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	122.240	4	30.560	61.374	0.000 [sig]
block	37.073	29	1.278	2.567	0.000 [sig]
Error	57.760	116	.498		
Total	1115.000	150			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสหมึกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	76.093	4	19.023	42.843	0.000[sig]
block	45.793	29	1.579	3.556	0.000[sig]
Error	51.507	116	0.444		
Total	895.000	150			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	84.693	4	21.173	27.626	0.000[sig]
block	42.160	29	1.454	1.897	0.000[sig]
Error	88.907	116	0.766		
Total	1530.000	150			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยในปริมาณต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Ing	46.307	4	11.577	22.347	0.000[sig]
block	35.073	29	1.209	2.335	0.001[sig]
Error	60.093	116	.518		
Total	1089.000	150			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	0.318	2	0.159	14.410	0.000[sig]
Temp	0.054	2	0.027	2.463	0.117[ns]
Moisture* Temp	0.178	4	0.044	4.031	0.019[sig]
rep	0.022	2	0.011	0.993	0.392[ns]
Error	0.176	16	0.011		
Total	16.667	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	3.535	2	1.767	14.525	0.000 [sig]
Temp	0.610	2	0.305	2.507	0.113 [ns]
Moisture* Temp	1.972	4	0.493	4.052	0.019 [sig]
rep	0.247	2	0.123	1.014	0.385 [ns]
Error	1.947	16	0.122		
Total	185.309	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	11.125	2	5.563	1023.256	0.000 [sig]
Temp	0.034	2	0.017	3.129	0.071 [ns]
Moisture* Temp	2.018	4	0.505	92.810	0.000 [sig]
rep	0.002	2	0.001	0.186	0.832 [ns]
Error	0.087	16	0.005		
Total	1387.146	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	4.170	2	2.085	533.772	0.000 [sig]
Temp	1.323	2	0.662	169.352	0.000 [sig]
Moisture* Temp	0.092	4	0.023	5.889	0.004 [sig]
rep	0.013	2	0.006	1.651	0.223 [ns]
Error	0.063	16	0.004		
Total	5320.085	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	32972728.534	2	16486364.267	1399.342	0.000 [sig]
Temp	1316620.828	2	658310.414	55.877	0.000 [sig]
Moisture* Temp	6410962.770	4	1602740.692	136.039	0.000 [sig]
rep	50852.274	2	25426.137	2.158	0.148 [ns]
Error	188504.223	16	11781.514		
Total	214564271.787	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	14.224	2	7.112	957.717	0.000 [sig]
Temp	0.027	2	0.014	1.829	0.193 [ns]
Moisture* Temp	1.597	4	0.399	53.777	0.000 [sig]
rep	0.002	2	0.001	0.129	0.880 [ns]
Error	0.119	16	0.007		
Total	118.481	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	0.026	2	0.013	41.749	0.000 [sig]
Temp	0.001	2	0.000	1.494	0.254 [ns]
Moisture* Temp	0.002	4	0.001	1.864	0.166 [ns]
rep	0.000	2	8.075E-005	.256	0..777 [ns]
Error	0.005	16	0.000		
Total	0.253	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	0.066	2	0.033	0.746	0.488 [ns]
Temp	0.433	2	0.217	4.927	0.020 [sig]
Moisture* Temp	0.010	4	0.003	0.057	0.993 [ns]
Error	0.791	18	0.044		
Total	19102.558	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	567.385	2	283.693	0.746	0.488 [ns]
Temp	3747.175	2	1873.588	4.927	0.020 [sig]
Moisture* Temp	87.332	4	21.833	0.057	0.993 [ns]
Error	6845.223	18	380.290		
Total	4351839.598	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-41 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Moisture	16681.981	2	8340.990	2.725	0.096 [ns]
Temp	29996.945	2	14998.473	4.900	0.022 [sig]
Moisture* Temp	4897.459	4	1224.365	0.400	0.806 [ns]
rep	4744.412	2	2372.206	0.775	0.477 [ns]
Error	48974.613	16	3060.913		
Total	18254132.696	27			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Temp	23.267	2	11.633	30.485	0.000 [sig]
Moisture	63.267	2	31.633	82.895	0.000 [sig]
Temp * Moisture	38.933	4	9.733	25.506	0.000 [sig]
block	41.367	29	1.426	3.738	0.000 [sig]
Error	88.533	232	0.382		
Total	9513.000	270			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Temp	0.030	2	0.015	2.071	0.128 [ns]
Moisture	0.030	2	0.015	2.071	0.128 [ns]
Temp * Moisture	0.059	4	0.015	2.071	0.085 [ns]
block	60.907	29	2.100	293.661	0.000 [sig]
Error	1.659	232	0.007		
Total	13645.000	270			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-44 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Temp	0.067	2	0.033	0.209	0.812 [ns]
Moisture	6.867	2	3.433	21.489	0.000 [sig]
Temp * Moisture	3.333	4	0.833	5.216	0.000 [sig]
block	19.333	29	0.667	4.173	0.000 [sig]
Error	37.067	232	0.160		
Total	11670.000	270			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-45 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Temp	0.474	2	0.237	2.671	0.071 [ns]
Moisture	15.141	2	7.570	85.289	0.000 [sig]
Temp * Moisture	1.126	4	0.281	3.171	0.015 [sig]
block	23.941	29	0.826	9.301	0.000 [sig]
Error	20.593	232	0.089		
Total	10942.000	270			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-46 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Temp	15.141	2	7.570	32.949	0.000 [sig]
Moisture	73.452	2	36.726	159.847	0.000 [sig]
Temp * Moisture	52.326	4	13.081	56.936	0.000 [sig]
block	116.830	29	4.029	17.534	0.000 [sig]
Error	53.304	232	0.230		
Total	9840.000	270			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-47 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Temp	25.719	2	12.859	57.405	0.000 [sig]
Moisture	69.807	2	34.904	155.813	0.000 [sig]
Temp * Moisture	72.948	4	18.237	81.412	0.000 [sig]
block	28.830	29	0.994	4.438	0.000 [sig]
Error	51.970	232	0.224		
Total	8874.000	270			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-48 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	0.358	1	0.358	270.501	0.000 [sig]
Week	3.632	6	0.605	456.810	0.000 [sig]
Package * Week	0.319	6	0.053	40.080	0.000 [sig]
rep	0.003	2	0.002	1.263	0.300 [ns]
Error	0.034	26	0.001		
Total	3515.935	42			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-49 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	0.008	1	0.008	460.366	0.000 [sig]
Week	0.115	6	0.019	1112.867	0.000 [sig]
Package * Week	0.007	6	0.001	64.859	0.000 [sig]
rep	1.543E-005	2	7.714E-006	0.446	0.645 [ns]
Error	0.000	26	1.728E-005		
Total	10.356	42			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-50 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	0.000	1	0.000	0.000	1.000 [ns]
Week	0.001	6	8.810E-005	0.320	0.920 [ns]
Package * Week	0.000	6	3.889E-005	0.141	0.989 [ns]
rep	0.000	2	0.000	0.450	0.642 [ns]
Error	0.007	26	0.000		
Total	0.495	42			

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

ตารางภาคผนวก ฉ-51 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	682173.577	1	682173.577	428.452	.000 [sig]
Week	15982420.840	6	2663736.807	1673.009	.000 [sig]
Package * Week	301214.076	6	50202.346	31.531	.000 [sig]
Error	44581.137	28	1592.183		
Total	102984958.355	42			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-52 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกัน ในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	16.431	1	16.431	468.222	0.000
Week	101.903	6	16.984	483.968	0.000
Package * Week	7.640	6	1.273	36.285	0.000
Error	0.983	28	0.035		
Total	554.034	42			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-53 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุผภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	0.715	1	0.715	79.932	0.000 [sig]
Week	3.614	6	0.602	67.341	0.000 [sig]
Package * Week	0.242	6	0.040	4.509	0.003 [sig]
Error	0.250	28	0.009		
Total	30258.870	42			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-54 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุผภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	6172.716	1	6172.716	80.518	0.000 [sig]
Week	31158.037	6	5193.006	67.738	0.000 [sig]
Package * Week	2121.073	6	353.512	4.611	0.002 [sig]
Error	2146.560	28	76.663		
Total	7572250.128	42			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-54 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างกันในระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	99616.308	1	99616.308	106.579	0.000 [sig]
Week	315427.069	6	52571.178	56.246	0.000 [sig]
Package * Week	74970.508	6	12495.085	13.368	0.000 [sig]
Error	26170.792	28	934.671		
Total	26088843.434	42			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-55 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	0.343	1	0.343	1.090	0.297 [ns]
Week	2.114	6	0.352	1.120	0.350 [ns]
Block	101.629	29	3.504	11.136	0.000 [sig]
Package * Week	1.190	6	0.198	.631	0.706 [ns]
Error	118.638	377	0.315		
Total	20888.000	420			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-56 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	0.343	1	0.343	1.090	0.297 [ns]
Week	2.114	6	0.352	1.120	0.350 [ns]
Block	101.629	29	3.504	11.136	0.000 [sig]
Package * Week	1.190	6	0.198	.631	0.706 [ns]
Error	118.638	377	0.315		
Total	20888.000	420			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-57 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	0.117	1	0.117	0.681	0.410 [ns]
Week	10.129	6	1.688	9.854	0.000 [sig]
Block	40.450	29	1.395	8.142	0.000 [sig]
Package * Week	0.100	6	0.017	0.097	0.997 [ns]
Error	64.583	377	0.171		
Total	18371.000	420			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-58 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	2.288	1	2.288	10.973	0.001 [sig]
Week	10.114	6	1.686	8.084	0.000 [sig]
Block	43.355	29	1.495	7.170	0.000 [sig]
Package * Week	0.629	6	0.105	0.502	0.807 [ns]
Error	78.612	377	0.209		
Total	16969.000	420			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางภาคผนวก ฉ-59 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	208.610	1	208.610	362.089	0.000 [sig]
Week	1125.848	6	187.641	325.694	0.000 [sig]
Block	72.133	29	2.487	4.317	0.000 [sig]
Package * Week	82.057	6	13.676	23.738	0.000 [sig]
Error	217.200	377	0.576		
Total	12286.000	420			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ฉ-60 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Package	115.238	1	115.238	305.785	0.000 [sig]
Week	424.790	6	70.798	187.864	0.000 [sig]
Block	41.057	29	1.416	3.757	0.000 [sig]
Package * Week	22.895	6	3.816	10.125	0.000 [sig]
Error	142.076	377	0.377		
Total	14052.000	420			

[sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

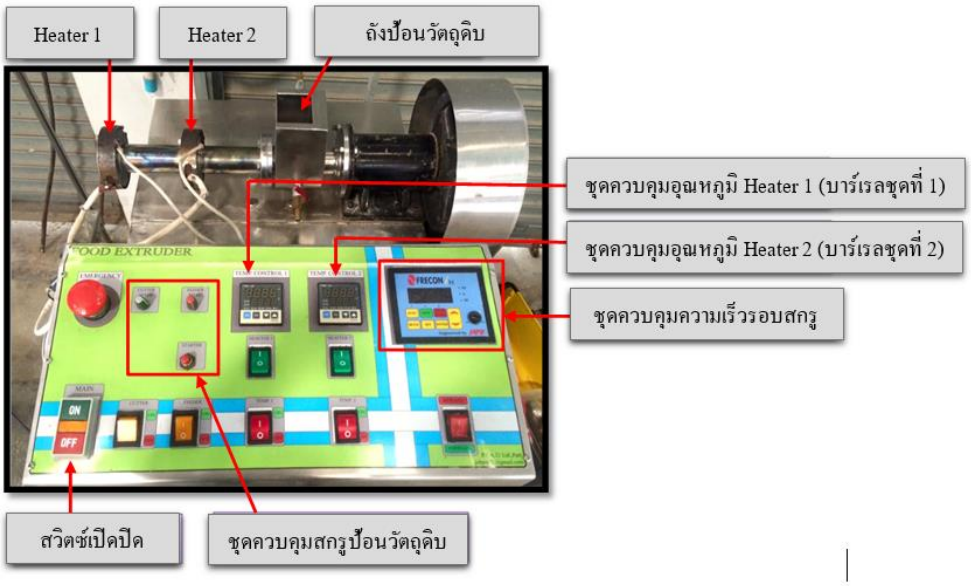
ภาคผนวก ช

ภาพประกอบการวิจัย

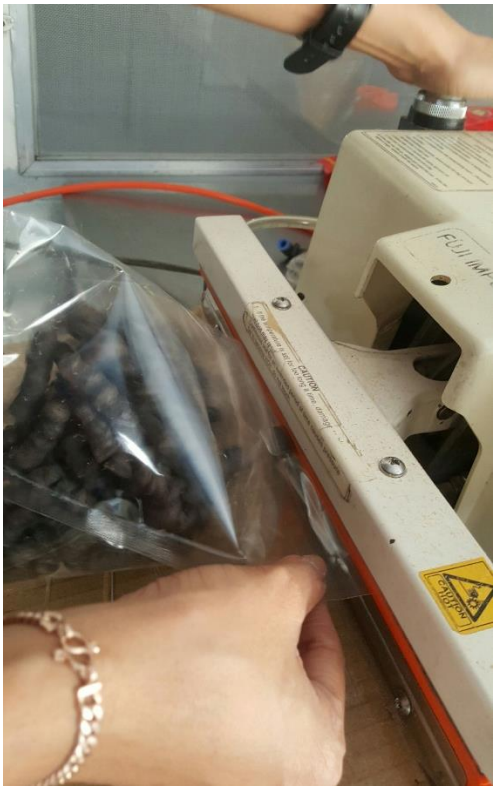
(ก)

(ข)

ภาพภาคผนวก ช- 1 ถุงน้ำหมึกของหมึกกล้วย (ก) และน้ำหมึกที่รีดได้จากถุงหมึกกล้วย (ข)



ภาพภาคผนวก ช- 2 ลักษณะและส่วนประกอบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ระดับปฏิบัติการแบบสกรูเดี่ยว



ภาพภาคผนวก ช-3 ลักษณะและเครื่องมือการบรรจุและปิดผนึกขนมขบเคี้ยวแบบปรับสภาพบรรยากาศโดยพ่นก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 99.99