

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

อายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในสองบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน
The Shelf Life of Instant Pasta in Two Different Packagings

นายภัทรภูมิ จินดาวนิช

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

อายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในสองบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

The Shelf Life of Instant Pasta in Two Different Packagings

นายภัทรภูมิ จินดาวนิช

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา อายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในสองบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายภัทรภูมิ จินดาวนิช

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเคมี

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายกีรติ ทิพย์ทินกร และ Mr. Tomasz Matuszewski

ชื่อสถานประกอบการ บริษัทยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิส จำกัด

บทคัทย่อ

พาสต้าสำเร็จรูปถูกบรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง ซึ่งได้จากฟิล์มพลาสติก Orient polypropylene ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Metalized cast polypropylene และถูกบรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สอง ซึ่งได้จากฟิล์มพลาสติก Orient polypropylene ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Cast polypropylene ที่สภาวะปกติ อายุการเก็บรักษาซึ่งถูกประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สองมากกว่า 12 สัปดาห์ ที่สภาวะเร่ง อายุการเก็บรักษาซึ่งถูกประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งมากกว่า 12 สัปดาห์ และของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองเท่ากับ 12 สัปดาห์ และอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สองจากการคำนวณโดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำคือ 17 สัปดาห์ และ 6 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Guggenheim-Anderson-de Bore (GAB), Brunauer-Emmett-Teller (BET), Oswin, Halsey และ Henderson มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของน้ำและความชื้น พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ GAB model เหมาะสมที่สุดสำหรับอธิบายไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป และไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปเป็นแบบซิกมอยด์ ซึ่งจัดเป็นกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นแบบ Type II isotherm

คำสำคัญ : พาสต้าสำเร็จรูป อายุการเก็บรักษา การทดสอบทางประสาทสัมผัส ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operative Title: The Shelf Life of Instant Pasta in Two Different Packagings

Student Intern Name: Mr. Pattarapoom Jindawanich

Faculty: Engineering **Department:** Chemical engineering

Advisor Name: Assist.prof. Siripan Murathathunyaluk

Mentor Name: Mr. Keerathi Tiptinnakorn and Mr. Tomasz Matuszewski

Company: Unilever Thai Service Limited

ABSTRACT

Instant pasta was packed in type I and type II pasta sachet. Type I pasta sachet was made from orient polypropylene plastic film laminated with metalized cast polypropylene plastic film and type II pasta sachet was made from orient polypropylene plastic film laminated with cast polypropylene plastic film. At normal condition, shelf life which was assessed by sensory tests of instant pasta packed in type I and type II pasta sachet was more than 12 weeks. At accelerated condition, shelf life which was assessed by sensory tests of instant pasta packed in type I pasta sachet and type II pasta sachet was more than 12 weeks and equal 12 weeks respectively. At accelerated condition, shelf life of instant pasta packed in type I and type II pasta sachet which was evaluated from moisture sorption isotherm and water vapor permeability was 17 weeks and 6 weeks respectively. Study of moisture sorption isotherm of instant pasta had used mathematical models of Guggenheim-Anderson-de Bore (GAB), Brunauer-Emmett-Teller (BET), Oswin, Halsey and Henderson to explain relationships between water activity and moisture content. GAB model was the best for describing moisture sorption isotherm of instant pasta. Moisture sorption isotherm of instant pasta was sigmoid-shape that was classified as a type II isotherm.

Keywords : Instant pasta, Shelf life, Sensory test, Moisture sorption isotherm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงงานสหกิจศึกษาขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่มอบความรู้ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และชี้แนะข้อบกพร่อง พร้อมทั้งช่วยแก้ปัญหาในด้านต่างๆ และนิเทศน์งานสหกิจศึกษา จนสามารถดำเนินสหกิจศึกษาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ มานะ ทวินสุข ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำเรื่องบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร

ขอขอบคุณ วลัยวลันธร เดชบุญ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำเรื่องการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร

ขอขอบคุณ อำนาจ ที่คอยช่วยเหลือและดูแลตลอดช่วงเวลาสหกิจศึกษา และให้ความรู้เกี่ยวกับการทำงานในโรงงานและประสบการณ์จากการทำงานในโรงงาน

ขอขอบคุณ บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิส ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการฝึกสหกิจศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ ตลอดการดำเนินสหกิจศึกษาจนสำเร็จ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภัทรภูมิ จินดาวนิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัทย่อภาษาไทย	I
บทคัทย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์	3
2.2 คุณสมบัติในการป้องกัน	7
2.3 ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นของอาหาร	14
2.4 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร	17
2.5 กลิ่นหืน	18
2.6 บรรจุภัณฑ์	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	26
3.1 วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ และโปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินการ	26
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ	27
บทที่ 4 ผลการวิจัย	32
4.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	32
4.2 การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำและความชื้น	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหาอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งจากการคำนวณโดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ..... 44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 48
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 48
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 49
บรรณานุกรม..... 50
ภาคผนวก..... 53
ภาคผนวก ก..... 53
ภาคผนวก ข..... 64
ภาคผนวก ค..... 66
ภาคผนวก ง..... 67
ภาคผนวก จ..... 68
ภาคผนวก ฉ..... 70
ภาคผนวก ช..... 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ	32
4.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง	35
4.3 แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ	38
4.4 แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง	39
4.5 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ	40
4.6 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง	41
4.7 ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ	41
4.8 ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง	41
4.9 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ	43
4.10 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง	44
4.11 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การจำลองความสามารถในการซึมผ่านของแก๊สหรือไอน้ำผ่านพอลิเมอร์	9
2.2	การซึมผ่านวัสดุที่มี 3 ชั้น	13
2.3	ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับความชื้น	14
2.4	รูปแบบของไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับความชื้น	15
2.5	Relative rates of reactions and microbial growth as a function of water activity.	20
4.1	คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ	34
4.2	คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง	37
4.3	การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง	40
4.4	การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง	43
4.5	ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป	44
4.6	ความชื้นสะสมของซิลิกาเจลที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บรรจุภัณฑ์ของอาหารมีบทบาทสำคัญในการรักษาสภาพของอาหารให้มีสภาพคงเดิม หากอาหารไม่ถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์ คุณภาพของอาหารจะเปลี่ยนแปลงไป อาหารอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี อาจมีสิ่งปนเปื้อนเกาะติดอาหาร และที่สำคัญอาหารอาจเกิดการเปลี่ยนรสชาติ ทำให้ผู้บริโภคไม่สามารถยอมรับรสชาติที่เปลี่ยนได้ อาหารที่ถูกบรรจุใส่ในบรรจุภัณฑ์ที่สมบูรณ์ อายุการเก็บรักษาของอาหารนั้นก็จะมีระยะเวลานานขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพของอาหาร และยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร

เนื่องจากบริษัทยูนิลีเวอร์มีผลิตภัณฑ์ใหม่คือ พาสต้าสำเร็จรูป พาสต้าสำเร็จรูปถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นถ้วยพลาสติกที่มีฝาปิด ตัวถ้วยทำจากพลาสติก Polypropylene ส่วนฝาทำจากฟิล์มพลาสติก Polyethylene terephthalate ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Vacuum metalized polyethylene terephthalate อายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์นี้คือ 10 เดือนหรือ 40 สัปดาห์ที่สภาวะปกติ และ 14 สัปดาห์ที่สภาวะเร่ง บริษัทยูนิลีเวอร์วางแผนที่จะลดต้นทุนจากการทำบรรจุภัณฑ์ จึงนำพาสต้าสำเร็จรูปบรรจุใส่ในซองพลาสติก จากนั้นนำซองพลาสติกบรรจุใส่ถ้วยกระดาษที่มีฝาปิด ตัวถ้วยทำจาก White board paper ลามิเนตกับ Polyethylene ส่วนฝาทำจากฟิล์มพลาสติก Polyethylene terephthalate ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Low density polyethylene ซองพลาสติกที่บริษัทยูนิลีเวอร์จะเลือกใช้ มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำไม่เท่ากัน ซองพลาสติกมี 2 ชนิด ชนิดแรกคือซองพลาสติกที่ทำจากฟิล์มพลาสติก Orient Polypropylene (OPP) ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Metalized Cast Polypropylene (MCPP) ชนิดที่สองคือซองพลาสติกที่ทำจากฟิล์มพลาสติก Orient Polypropylene (OPP) ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Cast Polypropylene (CPP)

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ ที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง อายุการเก็บรักษาที่สภาวะปกติจะถูกประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง และอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งจะถูกประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง และถูกประเมินจากการคำนวณโดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ โดยการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นได้ใช้แบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Guggenheim-Anderson-de Bore (GAB), Brunauer-Emmett-Teller (BET), Oswin, Halsey และ Henderson มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของน้ำและความชื้น หากอายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งหรือชนิดที่สองมากกว่า 10 เดือนหรือ 40 สัปดาห์ที่สภาวะปกติ และมากกว่า 14 สัปดาห์ที่สภาวะเร่ง ซองพลาสติกนั้นจะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ ที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง สำหรับการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ ที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูป ที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง โดยอายุการเก็บรักษาที่สภาวะปกติของพาสต้าสำเร็จรูป จะถูกประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง และอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูป จะถูกประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง และถูกประเมินจากการคำนวณโดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น และทฤฎีเกี่ยวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง

2. ออกแบบการทดลองและทำการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูป ที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลจากการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร

2. เข้าใจหลักการและวิธีการของการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง

3. ลดต้นทุนของบริษัทในการทำบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุพาสต้าสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์

การทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ หรือการทดสอบหาความแตกต่าง จะใช้ในการทดสอบหาความแตกต่างที่ปรากฏระหว่างผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กำลังทดสอบ ผู้ทดสอบจะไม่ถูกอนุญาตให้ทดสอบตามความรู้สึกของตนเองว่าชอบหรือไม่ชอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กำลังทดสอบนั้นๆ อิทธิพลจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ทดสอบควรถูกกำจัดออกไป การทดสอบหาความแตกต่างในห้องปฏิบัติการสามารถนำมาใช้ได้ ถ้าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบหาความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยที่ผู้ทดสอบสามารถแยกหาความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่เสนอให้ทดสอบ 2 หรือมากกว่า 2 ตัวอย่าง โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับการชอบหรือไม่ชอบตัวอย่างที่กำลังทดสอบ การทดสอบหาความแตกต่างของตัวอย่างนี้อาจจะหาความแตกต่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์อันใดอันหนึ่ง เช่น สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส หรือหาความแตกต่างคุณภาพโดยรวมได้ มีวิธีการหามากมาย เช่น Triangle test, Simple paired comparisons test, Multiple paired comparisons test, Scheffe' paired comparisons test, Duo-trio test, Ranking test, Multiple comparisons test และ Scoring test

2.1.1 การทดสอบตัวอย่างเดียว

วิธีการประเมิณทางด้านประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ที่ง่ายที่สุด เป็นวิธีที่ง่ายทั้งในแง่ของการจัดการและการวิเคราะห์ วิธีดังกล่าวจะรวมถึงการนำเสนอชุดของตัวอย่างในครั้งเดียวของการทดสอบ โดยแบ่งช่วงเวลาของการนำเสนอเท่าๆกัน เฉพาะหนึ่งตัวอย่างจะถูกนำเสนอเพื่อทำการประเมินในครั้งเดียว การทดสอบนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์บ่อยครั้งมากในการทดสอบโดยผู้ทดสอบที่มีความชำนาญสำหรับการทดสอบดังกล่าว ตัวอย่างหนึ่งตัวอย่างจะถูกแสดงในเวลาครั้งหนึ่งๆ แต่การประเมินจะถูกผ่านการทดสอบต่อหลายตัวอย่างที่ถูกนำเสนอ การประเมินจะอยู่บนพื้นฐานของการจดจำมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ

การประยุกต์ของการทดสอบตัวอย่างเดียวคือ A-Not-A test ในกรณีนี้ผลิตภัณฑ์หนึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์มาตรฐาน หรือ A จะถูกประเมินในตอนแรก และหลังจากตัวอย่างที่ให้รหัสตัวอย่างหนึ่งถูกนำเสนอ การประเมินจะถูกถามให้จำแนกว่าตัวอย่างที่ให้รหัสเป็น A หรือ Not A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบแบบ A-Not-A test ตัวอย่างที่ถูกให้รหัสได้ถูกเอาออกในตอนแรก ก่อนที่การนำเสนอตัวอย่างต่อไปจะเกิดขึ้น ลำดับของตัวอย่าง A (ที่ให้รหัส 3 ตัวเลขและไม่มีการเขียนว่าเป็น A หรือ Not A) จะถูกนำเสนอโดยการสุ่ม หลังจากอีกตัวอย่างถูกนำเสนอ กล่าวคือ A, Not A, Not A, A, A, A, Not A, A เป็นต้น ลำดับที่ไม่สม่ำเสมอถูกกำหนดขึ้นในการนำเสนอตัวอย่าง เพื่อป้องกันการมีอคติที่อาจเกิดขึ้น การนำเสนออย่างต่อเนื่องหลายๆครั้งจำเป็นที่จะต้องทำการการสุ่ม และแต่ละตัวอย่างจะต้องให้รหัสที่แตกต่างกัน

ในการทดสอบตัวอย่างเดียวอาจจะมีประโยชน์ในการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบที่มีความชำนาญ วิธีนี้จะไม่ค่อยนำมาใช้ในการทดสอบหาความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ เพราะว่าไม่เปิดโอกาสให้มีการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างโดยตรง

2.1.2 การทดสอบสองตัวอย่าง

เมื่อมีการนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 2 ตัวอย่างในการทดสอบครั้งหนึ่งๆสำหรับการประเมินด้านประสาทสัมผัส วิธีที่ใช้เรียกว่าการทดสอบสองตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบตัวอย่างเดียว การนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์ควรจะใช้อย่างต่อเนื่องหลายๆครั้งเช่นกัน แม้ว่าในการทดสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์จะถูกนำเสนอในลักษณะเป็นคู่ ผลของการประเมินจะเป็นลักษณะการหาความแตกต่างหรือไม่แตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ถูกนำเสนอดังกล่าว ซึ่งไม่เหมือนกับการทดสอบตัวอย่างเดียวในแง่ที่ว่าการทดสอบสองตัวอย่างนี้ไม่จำเป็นต้องมีการจดจำ เพราะอยู่บนพื้นฐานของการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ตัวอย่าง

ดัชนีหลักสำหรับการใช้การทดสอบนี้คือตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 2 ตัวอย่างจะถูกนำเสนอในเวลาเดียวกัน ข้อมูลที่ต้องการประกอบด้วยความต้องการทราบความแตกต่างที่มีอยู่ในตัวอย่างระหว่างตัวอย่างผลิตภัณฑ์คู่ที่นำเสนอ หรือถ้ามีความแตกต่างแล้วสามารถทราบถึงระดับ ทิศทาง ของความแตกต่างด้วย

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 2 ตัวอย่างจะถูกให้รหัสด้วยวิธีการสุ่ม โดยเลือกเลข 3 หลักในการให้รหัส ชุดแรกของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ถูกให้รหัสแล้วจะถูกนำออกไป ก่อนที่จะทำซ้ำ โดยปกติตัวอย่าง A จะถูกควบคุม ส่วนตัวอย่าง B เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทราบ (Unknown) หรือเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่าง

สำหรับเวลาในการสุ่มครั้งหนึ่งๆ ลำดับของการนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์ควรจะมีการวางแผนอย่างสุ่ม ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 2 ตัวอย่างควรจะถูกนำเสนอด้วยการสลับของตัวอย่าง A และ B ดังนี้ AA, AB, BA, BB โดยที่ตัวอย่างทั้งสองจะถูกให้รหัสที่แตกต่างกัน วิธีนี้ความเป็นอคติจะถูกกำจัดออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าการนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายกับการทดสอบตัวอย่างเดียว แต่สามารถจัดการให้อยู่ในลักษณะการทดสอบตัวอย่างคู่ได้ โดยการให้ทีละตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีลักษณะคล้ายการทดสอบแบบ A-Not-A

2.1.3 การทดสอบแบบ Triangle test

วิธีการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสที่พบว่ามีการยอมรับอย่างกว้างขวางในกลุ่มของนักวิจัย ได้แก่การทดสอบแบบ Triangle test การทดสอบวิธีนี้เป็นการทดสอบอย่างง่ายในสำหรับ 3 ตัวอย่างในเวลาเดียวกัน ซึ่ง 2 ตัวอย่างใน 3 ตัวอย่างดังกล่าวมีความเหมือนกัน และอีกตัวอย่างหนึ่งจะแตกต่างจากกลุ่ม การทดสอบแบบ Triangle test นับว่ามีประโยชน์ในการพัฒนาหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ให้รหัสแล้ว 3 ตัวอย่างจะถูกนำเสนอทั้งหมดพร้อมกันแล้วผู้ประเมินจะชิมและประเมิน จนกระทั่งการประเมินสิ้นสุดลง ต่อมาตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะถูกนำออกเพื่อจะเปลี่ยนเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์อีกชุดหนึ่งที่ให้รหัสแล้วเช่นกันต่อไป โดยการให้รหัสในชุดหลังควรมีรหัสที่ไม่เหมือนกับชุดแรกและชุดอื่นๆที่ต้องการทดสอบ

จากการทดสอบนี้ จะมีชุดการนำเสนอที่สลับกันประมาณ 6 ชุด สำหรับตัวอย่าง A, B และอาจเป็นตัวอย่าง A หรือ B ก็ได้ที่ถูกนำเสนอในเวลาพร้อมกัน ชุดที่ 1 อาจจะเป็นดังนี้ AAB, ABA, BAA ถ้าตัวอย่าง A ถูกใช้เป็นตัวอย่างคงที่ในชุดของการนำเสนอ และชุดที่ 2 อาจจะเป็น ABB, BAB, BBA ถ้าตัวอย่าง B ถูกใช้เป็นตัวอย่างคงที่ เงื่อนไขสำหรับการทดสอบแบบ Triangle test คือควรจะต้องมี 3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำเสนอในเวลาเดียวกัน และ 2 ตัวอย่างในตัวอย่างทั้งหมดที่นำเสนอจะเหมือนกัน ตัวอย่างที่แตกต่างกับอีกสองตัวอย่างถูกคาดหวังว่าผู้ประเมินสามารถจำแนกได้ ถ้าตัวอย่างที่ต่างกันไม่ถูกจำแนกได้อย่างถูกต้องโดยจำนวนผู้ประเมินที่กำหนด นั่นหมายความว่าจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเชิงสถิติในลักษณะที่เป็นอยู่ระหว่างตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควบคุมและตัวอย่างสิ่งทดลอง

การทดสอบแบบ Triangle test สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ การเติมหรือนำออกของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆหรือกระบวนการผลิตหนึ่งๆ ที่ต้องการทดสอบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ใหม่หรือผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงคุณภาพ กับมาตรฐานหรือตัวอย่างควบคุม ดังนั้นถ้าการปรับปรุงประสบผลสำเร็จจะต้องมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติบางอย่างระหว่างตัวอย่างที่เป็นอยู่ในปัจจุบันกับตัวอย่างใหม่หรือตัวอย่างที่ปรับปรุงสูตรแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การทดสอบแบบ Duo-Trio test

วิธีนี้เป็นการประยุกต์ของการทดสอบสองตัวอย่างกับการทดสอบแบบ Triangle test หรือเป็นวิธีการที่รวมการทดสอบตัวอย่างเดียวกับการทดสอบตัวอย่างคู่

การทดสอบแบบ Duo-Trio test ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 3 ตัวอย่าง ในชุดตัวอย่างดังกล่าวจะมีความเหมือนกันเช่นเดียวกันกับการทดสอบแบบ Triangle test แต่ไม่เหมือนตรงที่วิธีนี้ตัวอย่างที่เป็นตัวควบคุมหรือตัวอย่างมาตรฐานจะเป็นตัวอย่างที่ต้องให้ผู้ประเมินทราบการนำเสนอ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาจจะประกอบไปด้วยตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างมาตรฐานที่ทำอักษร R และอีก 2 ตัวอย่างที่เหลือจะให้รหัสในลักษณะ Unknowns หลังจากนั้นผู้ประเมินจะถูกถามให้ตรวจสอบตัวอย่างที่เหมือนกับตัวอย่าง R

การทดสอบแบบ Duo-trio test อาจจะถูกดำเนินการในลักษณะคล้ายกับการรวมของการทดสอบแบบตัวอย่างเดียวกับการทดสอบตัวอย่างคู่ ตัวอย่างควบคุมหรือตัวอย่างมาตรฐาน R จะถูกนำเสนอตอนแรก และผู้ประเมินจะถูกถามให้ประเมินตัวอย่างควบคุมหรือตัวอย่างมาตรฐานนั้นด้วยความระมัดระวัง แล้วนำตัวอย่างควบคุมที่ประเมินแล้วออก และแทนชุดตัวอย่างใหม่ในทันที ผู้ประเมินจะถูกถามให้จำแนกตัวอย่างที่มีลักษณะคล้ายตัวอย่าง R เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง R กับตัวอย่างคู่ทั้งสองควรจะใช้เวลาสั้นเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามการจัดการของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ควรจะต้องไม่ให้ผู้ประเมินทราบและลำดับการนำเสนอจะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

2.1.5 การทดสอบแบบ Multiple-sample test

เมื่อตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 3 ตัวอย่างหรือมากกว่า 3 ตัวอย่างถูกนำเสนอพร้อมกันเพื่อประเมินทางด้านประสาทสัมผัส การทดสอบที่สามารถทำได้คือการทดสอบแบบ Multiple-sample test วิธีนี้อาจใช้การจัดลำดับ (Ranking) และการเปรียบเทียบ (Comparison) โดยมี 1 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างมาตรฐานหรืออาจมีตัวอย่างมาตรฐานหลายตัวอย่างก็ได้ โดยพื้นฐานการทดสอบนี้มีลักษณะคล้ายกับวิธีอื่นๆที่อธิบายข้างต้น ยกเว้นว่าวิธีการนำเสนอตัวอย่างในแต่ละครั้งจะใช้ตัวอย่างที่ให้รหัสแล้ว 3 ตัวอย่างหรือมากกว่า 3 ตัวอย่าง

การเปรียบเทียบตัวอย่างผลิตภัณฑ์ภายในกลุ่มมีบทบาทที่สำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อเป็นการเกี่ยวข้องกับลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น สี ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น เป็นต้น การนำเสนอตัวอย่างหลายๆตัวอย่างในเวลาที่พร้อมกันจะเป็นการทำให้เกิดการเปรียบเทียบระหว่างและภายในกลุ่มตัวอย่าง นอกจากนี้วิธีนี้จะมีความเป็นไปได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่คล้ายกันในบางลักษณะ แต่ยังมีความแตกต่างในลักษณะอื่นๆ ผลของการประเมินที่ใช้แบบสอบถาม สามารถที่จะให้ภาพรวมของลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บนพื้นฐานของคุณภาพ วิธีการจัดลำดับคุณภาพสามารถดำเนินการได้ การสร้างสหสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์และลำดับขั้นที่ได้รับจากการประเมินเป็นสิ่งที่จำเป็นเมื่อมีการวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติ

การเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมหรือตัวอย่างมาตรฐานในการทดสอบนี้เป็นไปเช่นเดียวกับการทดสอบแบบ Duo-trio test แต่ยวิธีนี้แทนที่จะนำเสนอตัวอย่างที่ให้รหัสเพียง 2 ตัวอย่าง แต่เป็นการนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 3 ตัวอย่างหรือมากกว่า 3 ตัวอย่าง สำหรับการเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมหรือตัวอย่างมาตรฐานที่ให้อักษร R วิธีนี้นับว่ามีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีตัวแปรหลายอย่างในสูตรและกระบวนการผลิตที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อคุณภาพที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการบรรจุหีบห่อที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อคุณภาพที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์

การทดสอบการเปรียบเทียบแบบที่มีมาตรฐานมากกว่า 1 มาตรฐาน (Multiple-standard comparison rest) เป็นการประยุกต์การทดสอบแบบ Multiple comparison โดยแทนที่จะมีตัวอย่างมาตรฐานเพียง 1 ตัวอย่าง ตัวอย่างมาตรฐานอาจจะมีเป็น 3 ตัวอย่างหรือมากกว่า 3 ตัวอย่างมาตรฐานก็ได้ เช่น R1, R2 และ R3 อาจจะถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ให้รหัส 3 ตัวอย่างหรือมากกว่า 3 ตัวอย่าง โดยพื้นฐานการทดสอบแบบนี้เป็นการขยายการทดสอบแบบที่มีมาตรฐานตัวอย่างคู่ (Duo-standard test) เพียงแต่วิธีนี้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างหรือมากกว่า 3 ตัวอย่างได้ถูกนำเสนอเป็นตัวอย่างมาตรฐาน อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้จะไม่ค่อยพบว่ามีการใช้กันมากนัก เพราะความซับซ้อนในการที่จะแนะนำผู้ทดสอบชิมและในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.2 คุณสมบัติในการป้องกัน

คุณสมบัติในการป้องกันของพลาสติก แสดงถึงการต้านการดูดซับหรือดูดซึม (Sorption) และการแพร่ (Diffusion) ของสาร เช่น แก๊ส หรือสารประกอบของกลิ่น ในพลาสติก พฤติกรรมการละลายและการเคลื่อนที่ของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในพลาสติกมีความสำคัญที่เพิ่มมากขึ้นเพราะการใช้ที่แพร่หลายของพอลิเมอร์ฟิล์มและพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์ การเลือกและการพัฒนาพลาสติกสำหรับทำบรรจุภัณฑ์

การป้องกันอาหาร จากการแลกเปลี่ยนแก๊สหรือไอน้ำ ระหว่างอาหารกับสิ่งแวดล้อม ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของบรรจุภัณฑ์ และความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) มี 2 กระบวนการที่แก๊สหรือไอน้ำอาจจะทะลุผ่านบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แก๊สหรือไอน้ำ ไหลผ่านรูขนาดเล็กของบรรจุภัณฑ์ เช่น microscopic pore และ pinholes

2) แก๊สหรือไอน้ำ ละลายในพอลิเมอร์ที่ผิวด้านหนึ่ง จากนั้นแพร่ผ่านพอลิเมอร์ โดยมีความแตกต่างของความเข้มข้น (concentration gradient) เป็นแรงขับเคลื่อน และระเหยออกจากผิวอีกด้านหนึ่งของพอลิเมอร์

บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก จะไม่เหมือนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากเหล็กและแก้ว เพราะบรรจุภัณฑ์ที่เป็นพลาสติกจะยอมให้แก๊สหรือไอน้ำซึมผ่านไปได้ พลาสติกที่มีคุณสมบัติในการป้องกันดี จะมีความสามารถในการซึมผ่านต่ำ

2.2.1 ทฤษฎี

ภายใต้สภาวะที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา (steady-state condition) แก๊สหรือไอน้ำจะแพร่ผ่านพอลิเมอร์ด้วยอัตราที่คงที่ ถ้าความแตกต่างของความดันถูกรักษาให้คงที่ ฟลักซ์ของการแพร่ (diffusive flux) สามารถหาได้จากปริมาณแก๊สหรือไอน้ำ (permeant) ที่เคลื่อนที่ผ่านพอลิเมอร์

$$J = \frac{Q}{At} \qquad 2.1$$

Q คือปริมาณของ permeant ที่เคลื่อนที่ผ่านพอลิเมอร์พื้นที่ผิว A ภายในเวลา t

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมผ่าน และความแตกต่างของความความเข้มข้น สามารถแสดงดังสมการ Fick's first law

$$J = -D\frac{\delta c}{\delta x} \qquad 2.2$$

J คือฟลักซ์ต่อหน่วยพื้นที่ของ permeant ที่ผ่านพอลิเมอร์

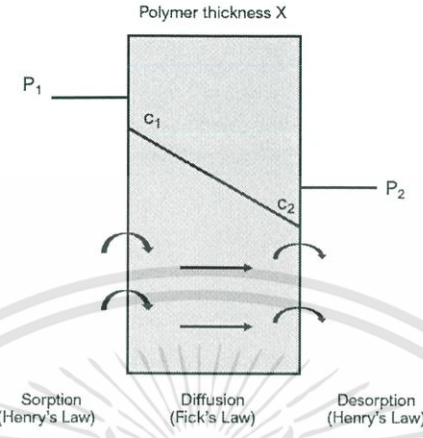
C คือความเข้มข้นของ permeant

D คือสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient)

$\frac{\delta c}{\delta x}$ คือความแตกต่างของความเข้มข้น (concentration gradient) ที่ผ่านพอลิเมอร์ความหนา δx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ 2 สามารถใช้คำนวณอัตราการแพร่ภายใต้สภาวะที่ไม่ขึ้นกับเวลา (steady state) โดยสมมติว่า D เป็นค่าคงที่ และความเข้มข้นมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งภายในพอลิเมอร์เท่านั้น



ภาพที่ 2.1 การจำลองความสามารถในการซึมผ่านของแก๊ส หรือไอน้ำ ผ่านพอลิเมอร์

Note. From **Food Packaging Principle and Practice** (p. 100), by Gordon L. Robertson, 2013, New York: CRC Press.

พิจารณาพอลิเมอร์ความหนา X หน่วย พื้นที่ A หน่วย ความดันที่ผิวด้านหนึ่ง p_1 ความดันที่ผิวอีกด้านหนึ่ง p_2 ความเข้มข้นของ permeant ที่ผิวด้านหนึ่งของพอลิเมอร์คือ c_1 และความเข้มข้นที่ผิวอีกด้านหนึ่งของพอลิเมอร์คือ c_2 แสดงดังรูปที่ 1

ถ้า x แทนตำแหน่งที่ผิวด้านหนึ่งของพอลิเมอร์ และ $x+\delta x$ แทนตำแหน่งที่ผิวอีกด้านหนึ่งของพอลิเมอร์ ถ้าการซึมผ่านที่ตำแหน่ง x คือ J และอัตราการซึมผ่านที่ตำแหน่ง $x+\delta x$ คือ $J+(\delta J/\delta x)\delta x$ ดังนั้นปริมาณที่เหลือในพอลิเมอร์คือ $(\delta J/\delta x)$ ซึ่งเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นต่อเวลา

$$\frac{\delta}{\delta x}(J) = -\frac{\delta c}{\delta t} \qquad 2.3$$

เครื่องหมายลบแสดงว่าความเข้มข้นของ permeant ลดลงระหว่างการเคลื่อนที่ในพอลิเมอร์ ภายใต้สภาวะที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา $\delta c/\delta t = 0$ และ J เป็นค่าคงที่ เมื่อความแตกต่างของความเข้มข้นเท่ากับศูนย์ แสดงว่าไม่มีการซึมผ่าน ถ้าแทนสมการ 2.2 ลงในสมการ 2.3 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\delta}{\delta x}(J) = \frac{\delta}{\delta x}\left[-D\frac{\delta c}{\delta x}\right] = -\frac{\delta c}{\delta x}$$

$$\frac{\delta c}{\delta x} = D\frac{\delta^2 c}{\delta x^2} \qquad 2.4$$

สมการที่ได้คือ Fick's second law ของการแพร่ สามารถใช้กับสถานการณ์ที่การการแพร่เกิดขึ้นทิศทางเดียว (x-direction) และสัมประสิทธิ์การแพร่ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น

2.2.2 Steady-state diffusion

การแพร่ที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา (Steady-state diffusion) J จะเป็นค่าคงที่ และสมการที่ 2 สามารถถูกอินทริเกรต โดยสมมติว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น

$$J = \frac{D(c_2 - c_1)}{X} \qquad 2.5$$

สมการที่ได้มาสามารถเขียนได้ใหม่โดยการแทน J จากสมการที่ 2.5 ลงในสมการที่ 1 ทำให้สามารถคำนวณ Q หรือปริมาณของ permeant ที่แพร่ผ่านพอลิเมอร์ที่มีพื้นที่ผิว A เวลา t

$$Q = \frac{D(c_2 - c_1)At}{X} \qquad 2.6$$

เมื่อ permeant คือแก๊สหรือไอน้ำ เพื่อความสะดวกในการวัด จะวัดความดันไอ (vapor pressure) แทนการวัดความเข้มข้น ที่ความเข้มข้นต่ำ Henry's law จะถูกประยุกต์ใช้ และความเข้มข้นจะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$c = Sp \qquad 2.7$$

S คือสัมประสิทธิ์การละลาย (solubility coefficient) ของ permeant ในพอลิเมอร์ สามารถรวมสมการที่ 2.6 กับสมการที่ 2.7 ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{DS(p_1 - p_2)At}{X} \quad 2.8$$

ผลคูณของสัมประสิทธิ์การแพร่ และสัมประสิทธิ์การละลาย จะเรียกว่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeability coefficient)

$$P = DS \quad 2.9$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน เป็นผลคูณของเทอมจลนศาสตร์ (kinetic term) ที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของ permeant ในพอลิเมอร์ และเทอมอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic) ที่แสดงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่าง permeant กับพอลิเมอร์ สามารถเขียนสมการ ใหม่ได้ดังนี้

$$P = \frac{QX}{At(p_1 - p_2)} \quad 2.10$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{P}{X} A(\Delta p) \quad 2.11$$

เทอม P/X จะถูกเรียกว่า permeability

2.2.3 อัตราการซึมผ่าน

ภายใต้สภาวะที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา (steady-state) จะสมมติว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และสัมประสิทธิ์การละลาย ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น แต่ในทางปฏิบัติ ก็จะมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้น สมการที่ 2.10 จะไม่เหมาะสำหรับพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นเนื้อเดียว เช่นฟิล์มที่ผ่านการเคลือบ และฟิล์มลามิเนต ดังนั้นจึงกำหนดคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของพอลิเมอร์

$$TR = \frac{Q}{At} \quad 2.12$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q คือปริมาณ permeant ที่เคลื่อนที่ผ่านพอลิเมอร์

A คือพื้นที่

t คือเวลา

ความสามารถในการซึมผ่านของแก๊ส ไอน้ำ หรือกลิ่น ที่ซึมผ่านพอลิเมอร์ จะถูกแสดงผ่านคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านนี้ ซึ่งใช้กันอย่างเป็นทางการทั่วโลก ในกรณีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะใช้เทอม WVTR (water vapor transmission rate) ในกรณีอัตราการซึมผ่านของแก๊สจะใช้เทอม GTR (gas transmission rate) โดยแก๊สบางชนิด เช่นแก๊สออกซิเจนจะใช้เทอม OTR (oxygen transmission rate) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะใช้เทอม CDTR (carbon dioxide transmission rate) ซึ่งอัตราการซึมผ่านมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การซึมผ่านดังนี้

$$P = \frac{Q}{At}\frac{X}{\Delta p} = TR\frac{X}{\Delta p} \qquad 2.13$$

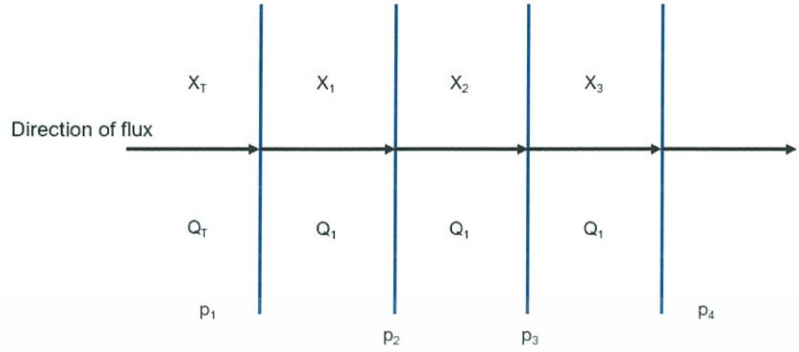
การหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน จำเป็นต้องรู้ความหนาของพอลิเมอร์ ความแตกต่างของความดัน และอันตราการซึมผ่าน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์ หน่วยของอัตราการซึมผ่านคือปริมาณที่ซึมผ่านต่อพื้นที่ต่อเวลา เช่นอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะใช้หน่วย $(g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$ อัตราการซึมผ่านของแก๊สจะใช้หน่วย $(mL \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$

การคำนวณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของไอน้ำ จะใช้ความอันไอน้ำอิ่มตัว (saturation vapor pressure) ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นแรงขับ (driving force) แทนความแตกต่างของความดัน

2.2.4 ความสามารถในการซึมผ่านของวัสดุที่มีหลายชั้น

อาหารหลายชนิดต้องการการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำที่มาก การที่เพิ่มความหนาของพอลิเมอร์ก็จะช่วยเพิ่มการป้องกันการซึมผ่าน แต่ก็จะเป็นการเสียต้นทุนที่มาก ดังนั้นจึงเกิดการนำพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกัน นำมาประกบกัน กลายเป็นวัสดุที่มีหลายชั้น ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำที่ดีขึ้น ความสามารถในการซึมผ่านของวัสดุที่มีหลายชั้นสามารถคำนวณได้ ตัวอย่างในการพิจารณา จะพิจารณาวัสดุที่มี 3 ชั้น แสดงดังภาพที่ 2.1 โดยสมมติว่าอยู่ในสภาวะที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา และอัตราการซึมผ่านของแต่ละชั้นมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 การซึมผ่านวัสดุที่มี 3 ชั้น

Note. From **Food Packaging Principle and Practice** (p. 122), by Gordon L. Robertson, 2013, New York: CRC Press.

$$\frac{X_T}{P_T} = \frac{X_1}{P_1} + \frac{X_2}{P_2} + \frac{X_3}{P_3} \qquad 2.14$$

ถ้าความหนาของพอลิเมอร์แต่ละชั้น และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของพอลิเมอร์แต่ละชั้นไม่ขึ้นอยู่กับความดัน และสามารถหาได้ ดังนั้นสามารถใช้สมการที่ 2.14 หาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของวัสดุที่มีหลายชั้น

2.2.5 การวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

การวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ จะใช้มาตรฐาน ASTM E96 ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำผ่านกระดาษ ฟิล์มพลาสติก แผ่นชีท แผ่นไฟเบอร์บอร์ด แผ่นไม้และพลาสติกที่มีความหนาของชิ้นงานไม่เกิน 32 มิลลิเมตร หรือ 1.25 นิ้ว ซึ่งมีวิธีการวัดคือใช้สารดูดความชื้น โดยในการทดสอบจะหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสารดูดความชื้นที่เพิ่มขึ้นกับเวลา นำมาพลอตกราฟโดยที่แกน X คือเวลา และแกน Y คือน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสารดูดความชื้น การทดสอบตามมาตรฐานนี้เป็นการทดสอบที่ใช้เครื่องมืออย่างง่าย แต่มีความน่าเชื่อถือ ค่าที่ได้จากการทดสอบภายใต้สภาวะหนึ่งไม่สามารถมาใช้อ้างอิงสำหรับการใช้งานในสภาวะอื่นได้ จึงต้องเลือกวิธีการทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานจริงของวัสดุ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ สามารถหาได้จากสมการ

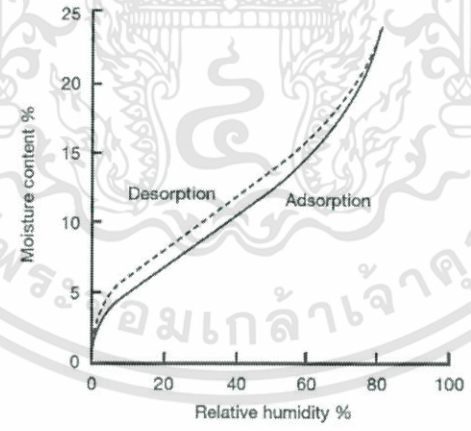
$$WVTR = \frac{Q}{At} = \frac{slope}{area} = \frac{gH_2O}{m^2 day} \qquad 2.15$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) ไปเป็นความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability) สามารถทำได้โดยการหารอัตราการซึมผ่านของไอน้ำด้วยความแตกต่างของความดัน หรือหารด้วยความดันไออิ่มตัว

2.3 ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นของอาหาร

ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับความชื้น (Moisture Sorption Isotherm : MSI) เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอคติวิตีของน้ำ (Water activity : aw) กับปริมาณความชื้นสมดุลของอาหารที่อุณหภูมิหนึ่งๆ โดยทั่วไปใช้ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้น สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption Isotherm) และไอโซเทอร์มการคายซับ (Desorption Isotherm) ซึ่งกราฟทั้ง 2 รูปแบบเกิดจากกลไกในการเคลื่อนย้ายความชื้น (Moisture migration) ที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปในอาหารแห้งจะสร้างไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้น แบบไอโซเทอร์มการการดูดซับหรือเส้นพฤติกรรมการดูดความชื้นที่อุณหภูมิคงที่หนึ่ง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอาหารแห้งไว้ ในภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆกัน แล้วปล่อยให้เกิดการเคลื่อนย้ายความชื้นจากอากาศสู่อาหารจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ขณะที่ไอโซเทอร์มการคายซับได้จากข้อมูลที่ได้จากการเก็บอาหารที่มีปริมาณความชื้นสูงไว้ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆกัน ที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ แล้วปล่อยให้เกิดการเคลื่อนย้ายความชื้นจากอาหารสู่อากาศจนเข้าสู่สภาวะสมดุล



ภาพที่ 2.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับความชื้น

*หมายเหตุ.*จาก "ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง," โดย สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และ เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 2557, **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,** 42(1), น. 27.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

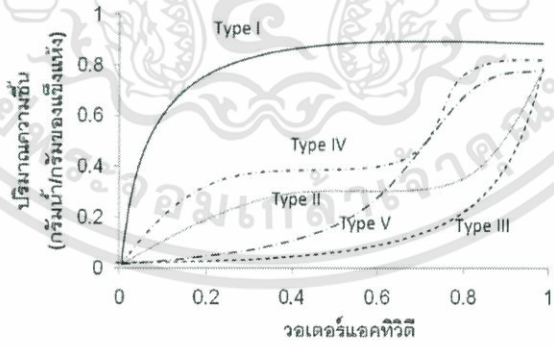
ลักษณะของไอโซเทอร์มการดูด-คายซับมีทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ Langmuir isotherm (Type I), Sigmoid (Type II), Flory-Higgins isotherm (Type III), Type IV และ BET multilayer adsorption isotherm (Type V)

โดยทั่วไปลักษณธของไอโซเทอร์มการดูด-คายซับที่พบในอาหารมี 3 แบบ คือ Type I, Type II และ Type III ลักษณะของไอโซเทอร์มการดูด-คายซับขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหาร

รูปแบบ Type I พบมากในสารกันการรวมตัวเป็นก้อน (anticaking agent) เช่นอลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งเป็นสารที่สามารถดูดซับความชื้นได้ดีตั้งแต่ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ดังนั้นปริมาณความชื้นของสารที่สภาวะสมดุลจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นในระบบสูงขึ้น

รูปแบบ Type II มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส พบในอาหารส่วนใหญ่ ซึ่งมีทั้งสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมอยู่กับตัวถูกละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล

รูปแบบ Type III มีลักษณะกราฟคล้ายตัวเจ พบในน้ำตาล กลือ และอาหารที่มีน้ำตาลหรือเกลือในปริมาณที่สูง แต่มีพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในปริมาณต่ำ พบได้ในผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ลูกกวาด แยม เป็นต้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะแวดล้อมมีค่าต่ำ อาหารกลุ่มนี้จะดูดความชื้นได้ช้า แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะแวดล้อมมีค่าสูง อาหารกลุ่มนี้จะสามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ลักษณะทางกายภาพของอาหารเปลี่ยนแปลง จนอาจทำให้เกิดการไม่ยอมรับของผู้บริโภค หรือเกิดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์



ภาพที่ 2.4 รูปแบบของไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับความชื้น

*หมายเหตุ.*จาก “ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง,” โดย สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และ เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 2557, **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,** 42(1), น. 29.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าการสร้างไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้น มีประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์อาหารหลายด้าน เช่น การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีและจุลินทรีย์ของอาหาร รวมถึงการเลือกปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการสร้างไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นแต่ละครั้ง จำเป็นต้องใช้เวลานานและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย จึงต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้น โดยสามารถแบ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ 3 ประเภท ได้แก่ แบบจำลอง 2 ตัวแปร เช่น Brunauer-Emmett-Teller (BET) model, Modified Halsey model, Modified Oswin model และ Modified Henderson model แบบจำลอง 3 ตัวแปร เช่น Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) model และแบบจำลอง 4 ตัวแปร เช่น Peleg model โดยแบบจำลองที่นิยมใช้ในการหาไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้น ได้แก่

แบบจำลอง Brunauer-Emmett-Teller (BET)

$$X = \frac{X_0 C a_w}{(1-a_w)(1-a_w+Ca_w)} \qquad 2.16$$

แบบจำลอง Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB)

$$X = \frac{X_0 C K a_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)} \qquad 2.17$$

X คือปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุล

X_0 คือ Monolayer moisture content

C, K คือค่าคงที่ของสมการ

แบบจำลอง Oswin

$$X = A\left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)^n \qquad 2.18$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลอง Halsey

$$X = \left(-\frac{A}{\ln a_w} \right)^{1/n} \qquad 2.19$$

แบบจำลอง Henderson

$$X = \left(-\frac{\ln(1-a_w)}{A} \right)^{1/n} \qquad 2.20$$

แบบจำลอง Peleg

$$X = A_1 a_w^{A_3} + A_2 a_w^{A_4} \qquad 2.21$$

n, A, A_1, A_2, A_3, A_4 คือค่าคงที่ของสมการ

2.4 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร

อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการบ่งบอกถึงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้นยังมีความปลอดภัยต่อการบริโภค รวมถึงยังมีลักษณะทางประสาทสัมผัส เคมี กายภาพ และชีวภาพเป็นที่พึงพอใจ และคงไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการตามที่ได้ระบุไว้ในฉลากโภชนาการ ทั้งนี้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการเก็บรักษาที่เหมาะสม

นอกจากนี้หากพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยภายใน ซึ่งเป็นปัจจัยที่แสดงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ค่าแอคติวิตีของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ แร่ธาตุต่างๆ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ การใช้สารป้องกันการเสื่อมเสีย องค์ประกอบของสารกลุ่มชีวะเคมีต่างๆ เป็นต้น และปัจจัยภายนอก เช่นการควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาและการจัดจำหน่าย ปริมาณความชื้อสัมพัทธ์ในระหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และการจัดจำหน่าย การสัมผัสกับแสงต่างๆในระหว่างกระบวนการ การจัดการของผู้บริโภค เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภานอกของผลิตภัณฑ์อาหาร ต่างก็มีปฏิกิริยาต่อกัน ทั้งในแง่ของการยับยั้ง หรือการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่ออายุของการเก็บรักษาโดยตรง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆเหล่านั้นสามารถแบ่งแยกได้ดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงส่วนนี้มักมีสาเหตุมักมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการจัดการกับอาหาร ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต และการขนส่ง ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้แก่ การช้ำของผัก ผลไม้ การแตกหักของผลิตภัณฑ์ การสูญเสียความกรอบของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

2) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งขั้นตอนการผลิตและการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยาเคมีส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของอาหาร ที่มีปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาเป็นส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในอาหารได้แก่ ปฏิกิริยาเอนไซม์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน สำหรับตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ การเกิดกลิ่นหืน การเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น

3) การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ต้องอาศัยปัจจัยที่เพียงพอประกอบด้วย จึงสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ เช่น ค่าแอคติวิตีของน้ำในผลิตภัณฑ์อาหาร ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล หรือเกลือ ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา เป็นต้น ลักษณะตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์ได้แก่ การเน่าบูดของผลิตภัณฑ์อาหารสดจากจุลินทรีย์

2.5 กลิ่นหืน

กลิ่นหืน (Rancidity) คือกลิ่นผิดปกติของไขมันหรือน้ำมัน เป็นการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี

2.5.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

2.5.1.1 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของลิพิด

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของลิพิด (lipolysis หรือ hydrolytic rancidity) คือ ปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอร์ไรด์ด้วยน้ำ ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) โดยมีเอนไซม์ลิเพส (lipase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น

2.5.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด(lipid oxidation หรือ oxidative rancidity) คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจน ได้เป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ อัลดีไฮด์ กรด และสารพอลิเมอร์ สารเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล และสารที่ทำให้กลิ่นหรือรสผิดไป ซึ่งกลไกของการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (Initiation) ขั้นตอนการเริ่มเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ซึ่งไม่แข็งแรง ไวต่อปฏิกิริยา โดยเริ่มต้นที่คาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งอะตอมอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทีเป็น unpair electron

$$RH \rightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

2) ปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (Propagation) เกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็น peroxy radical ($ROO^{\bullet}$) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากมาย โดย peroxy radical ทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวใหม่ ได้ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH)

$$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow ROO^{\bullet}$$

$$RH + ROO^{\bullet} \rightarrow ROOH + R^{\bullet}$$

3) ปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ(Termination) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมารวมตัวกันเองเกิดเป็นสารใหม่ (secondary product) เช่น แอลดีไฮด์ คีโทน แอลกอฮอล์ แอลเคน และกรดอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดสี กลิ่น และรส ที่ผิดปกติ

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow RR$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \rightarrow RooR + O_2$$

$$RO^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow ROR$$

$$ROO^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow ROOR$$

$$2RO^{\bullet} + 2ROO^{\bullet} \rightarrow 2ROOR + O_2$$

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืน

2.5.2.1 ออกซิเจน

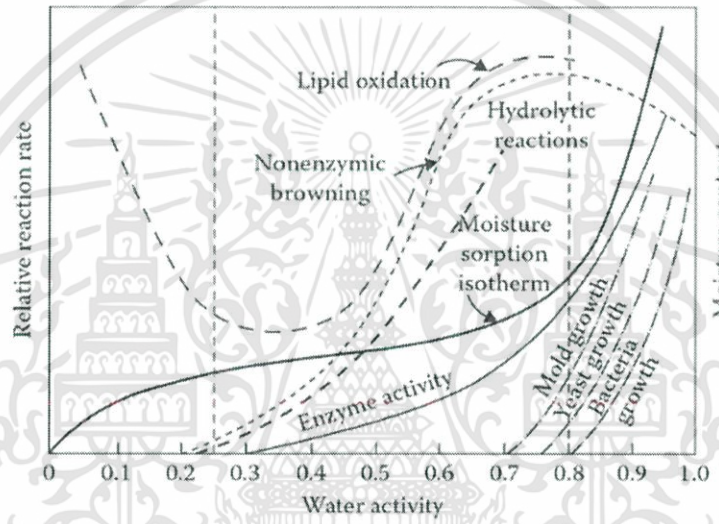
ออกซิเจนมีผลต่อมีผลต่อความเสถียรของผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ เช่น อาหารว่าง อาหารสำเร็จรูป ซึ่งมีสาเหตุมาจาก กรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตและเก็บรักษา โดยปริมาณเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปริมาณของออกซิเจนที่ยังมีอยู่ (available oxygen) ในขณะที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าหากสามารถลดปริมาณของออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่ออาหาร และออกซิเจนภายนอกก็ไม่สามารถสัมผัสกับอาหาร แล้วอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะไม่ขึ้นกับออกซิเจน

2.5.2.2 แอกตวิตีของน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

แอกติวิตีของน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลชีววิทยาปัจจัยหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 Relative rates of reactions and microbial growth as a function of water activity

Note. From **Food Packaging Principle and Practice** (p. 317), by Gordon L. Robertson, 2013, New York: CRC Press.

จากภาพที่ 2.5 สามารถอธิบายได้ว่า ความชื้นและแอกติวิตีของน้ำมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งทางชีวเคมีและจุลชีววิทยา ดังนั้นการเลือกแอกติวิตีของน้ำที่เหมาะสมที่สุด จะสามารถป้องกันหรือลดอัตราการเสื่อมเสียเนื่องจากการเหม็นหืนในขณะเก็บผลิตภัณฑ์อาหารให้เกิดน้อยที่สุด ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าแอกติวิตีของน้ำที่เหมาะสมคือ 0.3 เนื่องจาก Free radical ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถูกโมเลกุลของน้ำจำกัดความอิสระลงในการที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจน ดังนั้นจึงทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดต่ำลง แต่เมื่อแอกติวิตีของน้ำสูงเกิน 0.5 จะมีผลในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถึงแม้ว่าในผลิตภัณฑ์มีแอกติวิตีของน้ำต่ำ (0.05-0.1) ก็จะเกิดออกซิเดชันได้เช่นกัน เนื่องจากในสภาพแอกติวิตีของน้ำต่ำ Free radical มีอิสระมากขึ้น ซึ่งทำให้มีความว่องไวที่จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยากับออกซิเจน และเนื่องจากแอกติวิตีของน้ำจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์ (%ERH) ก็มีผลด้วย จากความสัมพันธ์ที่ว่า

$$a_w = {}^{\%ERH}/_{100} \qquad 2.22$$

2.5.2.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหารทั้งทางด้านชีววิทยา เคมี และกายภาพ นอกจากนี้ อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยที่ใช้เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารที่จะทำการศึกษา ตลอดจนสามารถที่จะนำมาใช้เร่งการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.5.2.4 แสง

แสงที่มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นแสงที่มีพลังงานควันตัมสูง มีความยาวคลื่นสั้นในช่วงที่สายตามองเห็น (Visible light) เช่นแสงสีน้ำเงิน และแสงอุลตร้าไวโอเลต ทั้งนี้จะพบว่าแอกติวิตีของน้ำของอาหารมีความสัมพันธ์กับแสง ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยถ้าในอาหารมีแอกติวิตีของน้ำสูง ทำให้แสงมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น

2.5.2.5 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน สามารถที่จะนำไปสู่การเร่งหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งนำไปสู่การเกิดกลิ่นหืนได้ โดยถ้าในกระบวนการผลิตใช้เวลาและอุณหภูมิต่างกัน ก็จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างกัน

2.5.2.6 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์จะมีผลต่อการควบคุมคุณภาพของอาหาร โดยบรรจุภัณฑ์นี้จะเป็นปัจจัยที่ใช้ควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิต เก็บรักษา และขนส่ง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลโดยตรงกับองค์ประกอบของอาหารภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของบรรจุภัณฑ์ก็เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารหลังการผลิตให้ใกล้เคียงกับคุณภาพเช่นเดียวกับหลังการผลิตมากที่สุดจนกว่าจะถึงมือผู้บริโภค

การเลือกบรรจุภัณฑ์ ควรจะเลือกบรรจุภัณฑ์ที่สามารถต้านการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำได้ดี ซึ่งถ้าทราบค่าเหล่านี้ จะสามารถนำไปคำนวณหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ต่างๆได้ แต่ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของฟิล์มที่ใช้จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ผลิตภัณฑ์อยู่

2.6 บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการที่จะยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยวัสดุที่จะนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์จะเป็นวัสดุที่อ่อนตัวพับได้ (Flexible material) ซึ่งทำจากฟิล์มพลาสติกชนิดเดียวและชั้นเดียว (Single layer) หรือฟิล์มลามิเนทหลายชั้น (Multilayer) ที่ประกอบด้วยฟิล์มพลาสติกชนิดเดียว หรือต่างชนิด หรือพลาสติกกับวัสดุอื่น เช่น กระดาษ อะลูมิเนียม โดยใช้วิธีการประกอบ (Laminate) หรือการรีดร่วม (Coextrusion) หรือการเคลือบ (Coating) โดยปกติฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์จะเป็นประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

พอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่อยู่ในกลุ่มโมเลกุลไม่เกาะตัวชนิดพลาสติกโมเลกุลแตกแขนง โมเลกุลที่มีการแตกแขนงของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก ซึ่งมีโครงสร้างของโซ่โมเลกุลบางส่วนเป็นระเบียบ พอลิโพรพิลีนมีสมบัติทั่วไปคือ ทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน เปราะที่อุณหภูมิ 0 °C มีความสามรถต้านทานแรงดึงและแรงกระแทก มีความสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ สำหรับพอลีโพรพิลีนที่ใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

1) CPP (Cast polypropylene) มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำสูง แต่คุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่ำ CPP สามารถใช้ความร้อนในการปิดเชื่อม มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง แต่ความต้านทานต่อแรงฉีกต่ำ รูปร่างและขนาดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น

2) OPP (Orient polypropylene) มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า CPP และคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซสูงกว่า CPP ด้วย แต่การเชื่อมปิดด้วยความร้อยทำได้ยาก จึงมีการใช้พลาสติกชนิดนี้ร่วมกับพลาสติกชนิดอื่น และมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่า CPP แต่ความต้านทานแรงฉีกต่ำกว่า CPP

นอกจากฟิล์มพลาสติกแล้ว ได้มีการนำโลหะมาใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ด้วย โดยโลหะที่นิยมนำมาใช้คือ อะลูมิเนียม ซึ่งจะอยู่ในรูปของอะลูมิเนียมฟอยล์ สาเหตุที่นิยมใช้อะลูมิเนียม เนื่องจากว่าเป็นโลหะที่สามารถรีดเป็นแผ่นบางๆได้ มีน้ำหนักเบา และป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี นอกจากนี้ยังนิยมนำพลาสติกมาลามิเนทกับอะลูมิเนียมฟอยล์ เนื่องจากอะลูมิเนียมฟอยล์สามารถที่จะอุดรูพรุน ที่เกิดในพลาสติกได้ดี ทำให้สามารถป้องการการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดีขึ้น

นอกจากการใช้อะลูมิเนียมฟอยล์มาทำการลามิเนทแล้ว ได้มีการนำอะลูมิเนียมมาทำการเคลือบบนแผ่นฟิล์มพลาสติก ซึ่งเรียกแผ่นฟิล์มชนิดว่า เมทัลไลซ์ฟิล์ม (Metalized film) โดยวิธีนี้จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเผาโลหะภายใต้สุญญากาศ ทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ จากนั้นจึงนำไอของโลหะไปเคลือบที่ผิวหน้าของฟิล์มพลาสติก ซึ่งฟิล์มพลาสติกที่เคลือบโลหะ (เมทัลไลซ์ฟิล์ม) จะมีคุณสมบติป้องการการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซสูงกว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบโลหะ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pradyuman Kumar, H.N. Mishra ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผงโยเกิร์ตมะม่วง (Mango soy fortified yogurt หรือ MSFY) ในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน การทดลองนี้เริ่มจากนำผงโยเกิร์ตมะม่วงบรรจุใส่ในถุง High density polypropylene (HDPP) และนำมาบรรจุใส่ถุง Aluminium laminated polyethylene (ALP) จากนั้นนำไปหาอายุการเก็บรักษาภายใต้สภาวะเร่ง (38 ± 1 ˚C, 90% Relative humidity) ซึ่งอายุการเก็บรักษาของผงโยเกิร์ตมะม่วงในถุง HDPP และถุง ALP คือ 45 และ 54 วัน ตามลำดับ พารามิเตอร์ที่ใช้วัดความเสถียรภาพทางกายภาพของผงโยเกิร์ตมะม่วงคือ Color different (ΔE_c) ทางเคมีของผงโยเกิร์ตมะม่วงคือ Free fatty acid (FFA), Thiobarbituric acid (TBA) และ Hydroxymethyl furfural (HMF) และทางชีวภาพของผงโยเกิร์ตมะม่วงคือ จำนวนของ *S.thermophilus* และ *L.bulgaricus* จากการวัดพารามิเตอร์พบว่า การเปลี่ยนแปลงของผงโยเกิร์ตมะม่วงภายในถุง HDPP มากกว่า ALP และสุดท้ายหาอับดับปฏิกิริยาของพารามิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละตัวเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์

JAYA และ H.DAS ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผงมะม่วงแห้งภายใต้สภาวะเร่ง โดยผงมะม่วงแห้งถูกผลิตจากเนื้อมะม่วง Glycerol monosterate 0.015 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมของเนื้อมะม่วง Tricalcium phosphate 0.015 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมของเนื้อมะม่วง และ Maltodextrin 0.62 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมของเนื้อมะม่วง เมื่อได้ผงมะม่วงจะนำมาบรรจุใส่ในถุง Aluminum foil-laminated และจะถูกนำมาเก็บในสภาวะเร่ง (38+-2 ˚C, 90% Relative humidity) ระยะเวลาในการเก็บคือ 3 เดือน ทุกๆ 15 วัน จะมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าความชื้น (Moisture) ค่าแอคติวิตีของน้ำ (Water activity) ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (Color change) ในการหาอายุการเก็บรักษา ความชื้นของผงมะม่วงที่จุดเหนียว (Sticky-point) จะถูกนำมาพิจารณาเป็นความชื้นสูงสุดที่ผงมะม่วงยังมีความเสถียรภาพ อายุการเก็บรักษาของผงมะม่วงถูกทำนายจากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) model ซึ่งอายุการเก็บรักษาจากการใช้สมการคำนวณของผงมะม่วงคือ 114 วัน ขณะที่อายุการเก็บรักษาจริงของผงมะม่วงคือ 105 วัน ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสีของผงมะม่วงระหว่างการเก็บในสภาวะเร่ง พบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

Manish Dak และ V.R.Sagar ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาของทับทิมที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ภายใต้สภาวะเร่ง โดยทับทิมจะถูกทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ จากนั้นจะนำทับทิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้งมาบรรจุใส่ถุง High density polypropylene (HDPP) และ Aluminum laminated polyethylene (ALP) ระยะเวลาในการเก็บคือ 3 เดือน ทุกๆ 15 วัน จะมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าความชื้น (Moisture) ค่าแอคติวิตีของน้ำ (Water activity) ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (Color change) อายุการเก็บรักษาของทับทิมแห้งจะถูกทำนายจากการเปลี่ยนแปลงของสีของสับทิมแห้งภายใต้สภาวะเร่ง (38+-2 ˚C, 90% Relative humidity) ซึ่งอายุการเก็บรักษาของทับทิมแห้งในถุง HDPP และถุง ALP คือ 96 วัน และ 187 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆเช่น Anthocyanin, Phenolics, Total soluble solids (TSS) และ Titrable acidity ของทับทิมแห้งในแต่ละบรรจุภัณฑ์ด้วย ซึ่งจากการทดลอง พบว่าถุง ALP มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของทับทิมแห้งได้ดีกว่าถุง HDPP และ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของแต่ละพารามิเตอร์ พบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์

Mohammad Rezaul Islam Shishir และคณะ ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผงฝรั่ง ที่เก็บในสภาวะและบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ผงฝรั่งจะถูกผลิตขึ้น จากนั้นจะถูกนำมาใส่ถุง Low density polyethylene (LDPE) ถุง Orient polypropylene (OPP) และถุง Polyethylene terephthalate (PET) ซึ่งแต่ละถุงจะถูกเก็บที่อุณหภูมิ 5 ˚C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และอุณหภูมิ 25 ˚C ความชื้นสัมพัทธ์ 65% ระยะเวลาในการเก็บคือ 10 สัปดาห์ ระหว่างการเก็บรักษา จะสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่วัดคือ ค่าความชื้น (Moisture) ค่าแอคติวิตีของน้ำ (Water activity) ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (Color change) และค่าไลโซพีน (Lycopene) อายุการเก็บรักษาของผงฝรั่งจะถูกทำนายจากสมการการถดถอยของค่าแอคติวิตีของน้ำ จากการทดลองพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ของผงมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญ บรรจุภัณฑ์ชนิด PET มีประสิทธ์ภาพสูงสุดในการรักษาความชื้น แอคติวิตีของน้ำ การเปลี่ยนแปลงของสี และไลโซพีน ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมาก ส่วนบรรจุภัณฑ์ชนิด LDPE มีประสิทธิภาพในการรักษาความชื้น แอคติวิตีของน้ำ การเปลี่ยนแปลงของสี และไลโซพีนต่ำสุด สภาวะการเก็บรักษาผงฝรั่งที่เหมาะสมที่สุดคือ เก็บในถุง PET ที่อุณหภูมิ 5 C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ซึ่งจากการทำนายอายุการเก็บรักษา พบว่าที่สภาวะดังกล่าวอายุการเก็บรักษาของผงฝรั่งคือ 35 สัปดาห์

Binko Tirkey และคณะ ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาของมะละกอดิบในบรรจุภัณฑ์ ลักษณะการเชื่อมติดด้วยความร้อน และสภาวะในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน โดยมะละกอดิบจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็กขนาด 2 เซนติเมตร จากนั้นถูกบรรจุใส่ในถุง Low Density Polyethylene (LDPE) และ Metalized Polyester poly (MPP) ถุง LDPE และถุง MPP จะถูกปิดเชื่อมด้วยความร้อน 3 วิธีที่แตกต่างกันคือ เชื่อมปิดด้วยความร้อนภายใต้อากาศ (Air sealing) เชื่อมปิดด้วยความร้อนภายใต้สุญญากาศ (Vacuum sealing) และ เชื่อมปิดด้วยความร้อนในรูพรุน (Sealing in perforated) จากนั้นจะถูกนำไปเก็บที่ 2 สภาวะคือ สภาวะอุณหภูมิปกติ (อุณหภูมิ 32 ˚C) และสภาวะอุณหภูมิต่ำ(อุณหภูมิ 4 ˚C) ระยะเวลาในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บคือ 12 วัน ทุกๆ 3 วัน จะมีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ จุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงของสี และการชิม จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ของมะละกอดิบที่เก็บที่สภาวะอุณหภูมิปกติ เปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อเทียบกับมะละกอดิบที่เก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ การเชื่อมปิดด้วยความร้อนภายใต้สุญญากาศของแต่ละสภาวะการเก็บรักษา และบรรจุภัณฑ์ทำให้มะละกอดิบมีความเสถียรภาพมากกว่าภารเชื่อมปิดด้วยความร้อนวิธีอื่นๆ การเก็บมะละกอดิบในถุง LDPE เชื่อมปิดด้วยความร้อยภายใต้สุญญากาศ และเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ทำให้มะละกอดิบมีความเสถียรภาพมากที่สุด เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ จุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย นอกจากนี้คะแนนจากการชิมมะละกอดิบที่สภาวะนี้ยังมาก สุดท้ายอายุการเก็บรักษาของมะละกอดิบที่สภาวะนี้คือ 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ และโปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินการ

3.1.1 วัตถุดิบ

พาสต้าสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมหลักเป็นแป้งข้าวสาลีซีโมลินาและผงไข่ขาว (บริษัทยูนิลีเวอร์ไทย เซอร์วิส จำจัด)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) ซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง (ฟิล์มพลาสติก Orient polypropylene ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Metalized cast polypropylene) ขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตร

2) ซองพลาสติกชนิดที่สอง (ฟิล์มพลาสติก Orient polypropylene ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Cast polypropylene) ขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตร

3) เครื่องวิเคราะห์แอกติวิตีของน้ำ (Water activity meter) รุ่น Aqua Lab Series 3

4) เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture analyzer) รุ่น Mettler Toledo HB43

5) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

6) ตะแกรงเมช 14 ขนาดของรู 1 มิลลิเมตร

7) เครื่องปั่น

8) ซิลิกาเจล

9) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

10) แบบประเมินสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) ตู้อบที่รักษาระดับของอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85 เปอร์เซ็นต์

12) ห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของห้องอยู่ในช่วง 4-10 องศาเซลเซียส

13) ห้องเก็บวัตถุดิบที่อุณหภูมิปกติ อุณหภูมิของห้องอยู่ในช่วง 26-35 องศาเซลเซียส

3.1.3 โปรแกรม

โปรแกรมคำนวณทางสถิติ MINITAB-18 statistical software

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.2.1 การเตรียมและเก็บตัวอย่างที่สภาวะต่างๆ

1) นำพาสต้าสำเร็จรูปบรรจุใส่ซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 145 ซอง ซองละ 22 กรัม

2) นำซองพลาสติกที่บรรจุพาสต้าทั้งหมดมาปิดผนึกด้วยความร้อน โดยปิดผนึกอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างที่รอยปิดผนึก

3) นำซองพลาสติกที่ถูกปิดผนึกแล้วไปเก็บที่ 3 สภาวะ สภาวะเร่งเก็บในตู้อบที่รักษาระดับของอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ สภาวะอุณหภูมิต่ำเก็บในห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของห้องอยู่ในช่วง 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 สัปดาห์ และสภาวะปกติเก็บในห้องเก็บวัตถุดิบที่อุณหภูมิปกติ อุณหภูมิของห้องอยู่ในช่วง 26-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 สัปดาห์

3.2.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ประเภทของการทดสอบทางประสาทสัมผัส คือการทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง วิธีการที่ใช้ทดสอบทางประสาทสัมผัสคือ Multiple comparison test

1) ทุกๆ 1 สัปดาห์ นำซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 1 ซอง ออกจากตู้อบและห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิต่ำ และทุกๆ 4 สัปดาห์ นำซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 1 ซอง ออกจากห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิปกติ เพื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยการชิมพาสต้าที่อยู่ในซองพลาสติกแต่ละชนิด โดยจะเป็นการชิมเพื่อหาความแตกต่างระหว่างพาสต้าสำเร็จรูปที่เก็บในสภาวะเร่งและพาสต้าสำเร็จรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บในสภาวะอุณหภูมิต่ำ และหาความแตกต่างระหว่างพาสต้าสำเร็จรูปที่เก็บในสภาวะปกติและพาสต้าสำเร็จรูปที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิต่ำ

2) นำพาสต้าสำเร็จรูปออกจากซองพลาสติก จากนั้นนำพาสต้าสำเร็จรูปใส่ถ้วย

3) เติมน้ำร้อน อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ปริมาณ 97 กรัม ใส่ลงในถ้วย ปิดฝาและทิ้งไว้ 5 นาทีรอจนพาสต้าสำเร็จรูปสุก จากนั้นเทน้ำที่อยู่ในถ้วยทิ้ง

4) ผู้ประเมินที่ผ่านการทดสอบ 3 คน จะชิมพาสต้าสำเร็จรูปที่สุกแล้ว จากนั้นจะทำการประเมินคุณภาพโดยรวม (overall) ประเมินคุณภาพสี (color) ประเมินคุณภาพกลิ่น (aroma) และประเมินคุณภาพรสชาติ (flavor) ของพาสต้าสำเร็จรูป โดยผู้ประเมินจะให้คะแนนของพาสต้าสำเร็จรูปที่เก็บในสภาวะปกติและสภาวะเร่ง เทียบกับพาสต้าสำเร็จรูปที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิต่ำ โดยช่วงคะแนนคือ 1-6 คะแนนเท่ากับ 6 คือเทียบเท่ามาตรฐาน (equal to standard) คะแนนเท่ากับ 5 คือแตกต่างกันน้อย (slightly different) คะแนนเท่ากับ 4 คือแตกต่างปานกลาง (moderately different) คะแนนเท่ากับ 3 คือแตกต่างมากแต่รับได้ (distinctly different) คะแนนเท่ากับ 2 คือแตกต่างมากและรับไม่ได้ (very much different) และคะแนนเท่ากับ 1 คือแตกต่างมากๆและรับไม่ได้ (extremely Different) คะแนนคุณภาพโดยรวมเฉลี่ย (average overall score) ที่ต่ำกว่า 2 คะแนน จะอยู่ในช่วงที่ผู้บริโภคไม่สามารถยอมรับได้

3.2.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงของพาสต้าสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษา

3.2.3.1 การวัดค่าแอกติวิตีของน้ำ

1) ทุกๆ 1 สัปดาห์ นำซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 1 ซอง ออกจากตู้อบและห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อวัดค่าแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าที่อยู่ในซองพลาสติกแต่ละชนิด และทุกๆ 4 สัปดาห์ นำซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 1 ซอง ออกจากห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิปกติ เพื่อวัดค่าแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าที่อยู่ในซองพลาสติกแต่ละชนิด

2) เปิดเครื่องและทำการเทียบมาตรฐานของเครื่องวิเคราะห์แอกติวิตีของน้ำ โดยการเติมน้ำกลั่นประมาณ 1/3 ของตลับวัด และนำตลับวัดใส่ในเครื่องวิเคราะห์แอกติวิตีของน้ำ ผลของการวัดจะได้ค่าแอกติวิตีของน้ำอยู่ในช่วง 0.990-0.1010

3) บดพาสต้าสำเร็จรูปด้วยเครื่องปั่น ให้มีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) นำพาสต้าที่ถูกบดใส่ตลับวัด ประมาณ 1/3 ของตลับวัด โดยใส่พาสต้าสำเร็จรูปที่ถูกบดให้กระจายเต็มตลับวัด ไม่ให้เห็นพื้นฐานของตลับวัด

5) นำตลับวัดใส่ในเครื่องวิเคราะห์แอกติวิตีของน้ำ และบันทึกแอกติวิตีของน้ำ

6) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.2.3.2 การวัดค่าความชื้น

1) ทุกๆ 1 สัปดาห์ นำซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 1 ซอง ออกจากตู้อบและห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อวัดค่าความชื้นของพาสต้าที่อยู่ในซองพลาสติกแต่ละชนิด และทุกๆ 4 สัปดาห์ นำซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 1 ซอง ออกจากห้องเก็บวัตุดิบที่อุณหภูมิปกติ เพื่อวัดค่าความชื้นของพาสต้าที่อยู่ในซองพลาสติกแต่ละชนิด

2) บดพาสต้าสำเร็จรูปด้วยเครื่องปั่น ให้มีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร

3) เปิดเครื่องวิเคราะห์ความชื้น จากนั้นเปิดฝาเครื่อง วางถาดกันลม และใส่ขารับน้ำหนักของจานตัวอย่าง ทำอย่างระมัดระวัง ตรวจสอบให้แน่ใจว่าใส่ลงล็อคตำแหน่งที่ถูกต้อง

4) วางจานเปล่าลงบนขารับน้ำหนัก ตรวจสอบว่าวางลงได้พอดี จานเปล่าต้องวางในระดับเดียวกับขารับน้ำหนักจากนั้นปิดฝาเครื่อง เพื่อหักค่าน้ำหนักของจานเปล่า

5) เปิดฝาเครื่อง และใส่พาสต้าสำเร็จรูปที่ถูกบดประมาณ 4.5 กรัม ลงบนจานเปล่า โดยใส่ให้กระจายเต็มจานเปล่า จากนั้นปิดฝาเครื่อง

6) เครื่องวิเคราะห์ความชื้นจะใช้อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนกับพาสต้าสำเร็จรูป เพื่อให้ความชื้นที่อยู่ในพาสต้าสำเร็จรูประเหย

7) เมื่อความชื้นที่อยู่ในพาสต้าสำเร็จรูประเหยออกไปจนหมด เครื่องจะหยุดทำงาน บันทึกค่าความชื้นที่อ่านได้ โดยหน่วยของค่าความชื้นที่อ่านได้จากเครื่องนี้คือ น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูป

8) นำพาสต้าสำเร็จรูปแห้งไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง

9) หาค่าความชื้นในหน่วย น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง

10) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การหาไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป

1) นำค่าการเปลี่ยนแปลงของแอกติวิตีของน้ำและความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปในหน่วยน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง ที่สภาวะเร่งมาพลอตกราฟ โดยที่แกนตั้งคือความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป แกนนอนคือแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูป

2) หาไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Guggenheim-Anderson-de Bore (GAB), Brunauer-Emmett-Teller (BET), Oswin, Halsey และ Henderson ด้วยการทำการถดถอยที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear regression analysis) ซึ่งใช้โปรแกรม MINITAB 18 Statistical software และประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) และค่ารางที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

3.2.5 การหาค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านซองพลาสติก

1) นำซิลิกาเจลบรรจุใส่ในซองพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 3 ซอง ซองละ 5 กรัม

2) ชั่งน้ำหนักซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลทั้ง 2 ชนิด และจดบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของซองพลาสติกแต่ละซอง

3) นำซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลทั้ง 2 ชนิด ใส่ในตู้อบที่รักษาระดับของอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน

4) ทุกๆ 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลทั้ง 2 ชนิด เพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลแต่ละซอง ทำเช่นนี้เป็นเวลา 7 วัน

5) นำค่าน้ำหนักของซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลทั้ง 2 ชนิดที่เพิ่มขึ้น ลบกับค่าน้ำหนักของซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลทั้ง 2 ชนิดเริ่มต้น จะได้ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นของซองพลาสติกแต่ละชนิด

6) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นของซองพลาสติกแต่ละชนิดกับจำนวนวัน โดยแกนนอนเป็นจำนวนวัน แกนตั้งเป็นปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นของซองพลาสติกแต่ละชนิด และหาความชันของกราฟนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) นำค่าความชันของกราฟ หารด้วยพื้นที่ผิวที่ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ของซองพลาสติก จะได้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ดังสมการที่ 3.1

$$WVTR = \frac{Q}{At} = \frac{slope}{area} = \frac{gH_2O}{m^2 day} \quad 3.1$$

8) นำค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำหารด้วยความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะได้ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability) ดังสมการที่ 3.2

$$k = \frac{WVTR}{p} \quad 3.2$$

3.2.6 การประเมินอายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูป

คำนวณอายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในแต่ละซองพลาสติกจากสมการที่ 3.3

$$\theta = \frac{W_s}{pkA}\left(\int_{x_i}^{x_c} \frac{1}{RH - a_w} dx\right) \quad 3.3$$

θ = อายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูป

W_s = น้ำหนักเริ่มต้นของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง

p = ความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

k = ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability)

A = พื้นที่ผิวที่ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ของซองพลาสติก

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะที่พาสต้าสำเร็จรูปถูกเก็บ

a_w = แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูป

X_i = ความชื้นเริ่มต้นของพาสต้าสำเร็จรูป

X_c = ความชื้นวิกฤตของพาสต้าสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

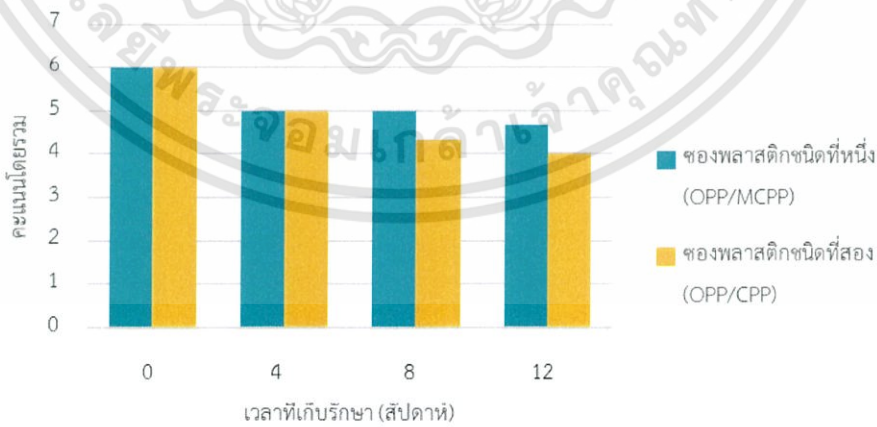
ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการทดสอบความแตกต่าง วิธีการที่ใช้ทดสอบทางประสาทสัมผัสคือ Multiple comparison test

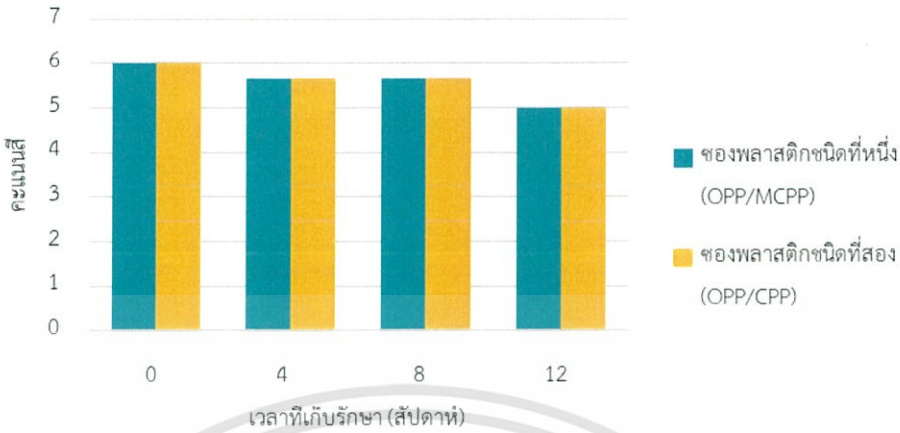
ตารางที่ 4.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนคุณภาพโดยรวม		คะแนนคุณภาพสี		คะแนนคุณภาพกลิ่น		คะแนนคุณภาพ	
	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2
0	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)
4	5.0 (0.0)	5.0 (0.0)	5.7 (0.6)	5.7 (0.6)	5.0 (0.0)	5.0 (0.0)	5.0 (0.0)	5.0 (0.0)
8	5.0 (0.0)	4.3 (0.6)	5.7 (0.6)	5.7 (0.6)	5.0 (0.0)	4.3 (0.6)	5.0 (0.0)	4.7 (0.6)
12	4.7 (0.6)	4.0 (0.0)	5.0 (1.0)	5.0 (0.0)	4.7 (0.6)	4.0 (0.0)	4.7 (0.6)	4.0 (0.0)

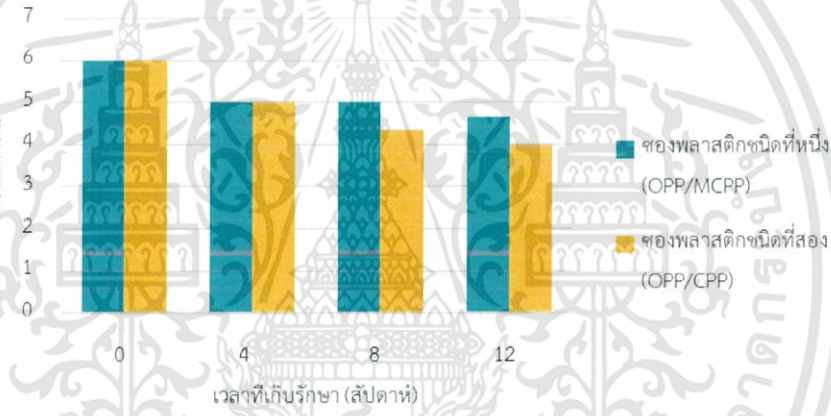


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

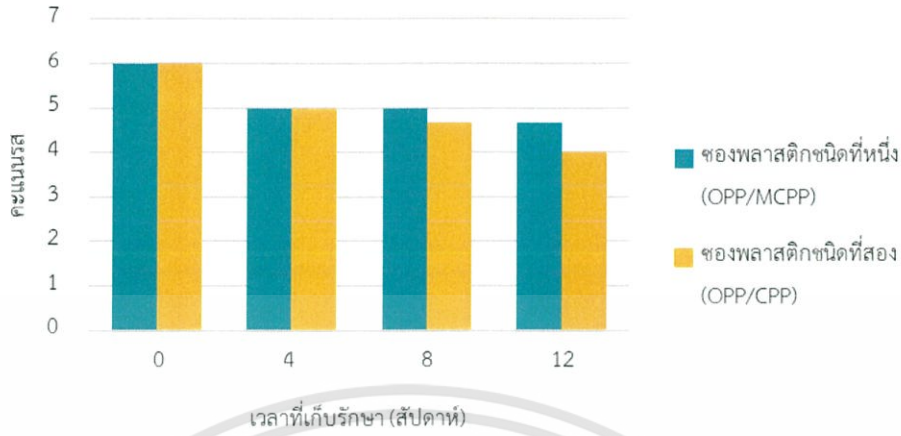


(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

ภาพที่ 4.1 (ก) คะแนนโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

(ข) คะแนนสีของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

(ค) คะแนนกลิ่นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

(ง) คะแนนรสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 คะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณภาพสี คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกทั้งสองชนิดซึ่งเก็บในสภาวะปกติมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ที่สัปดาห์เริ่มต้นและสัปดาห์ที่ 4 คะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณภาพสี คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติระหว่างพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สองจะเท่ากัน แต่ที่สัปดาห์ที่ 8 และสัปดาห์ที่ 12 คะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง มากกว่าคะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สอง ส่วนคะแนนคุณภาพสีระหว่างพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองนั้นเท่ากัน ดังนั้นชนิดของซองพลาสติกส่งผลให้พาสต้าสำเร็จรูปมีความแตกต่างกันในเรื่องคุณภาพโดยรวม คุณภาพกลิ่น และคุณภาพรสชาติ จนผู้ทดสอบสามารถตรวจพบได้ ที่เวลาการเก็บรักษาเท่ากับ 12 สัปดาห์ คะแนนคุณภาพโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกทั้งสองชนิดมีค่ามากกว่า 2 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนที่ผู้บริโภค

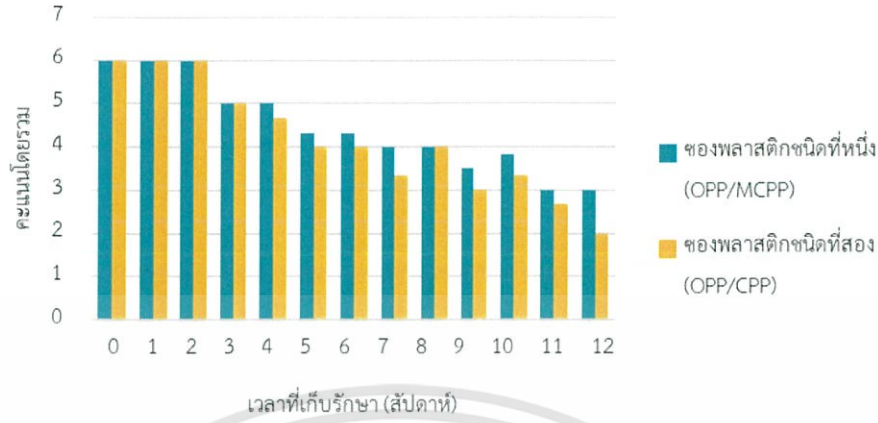
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถยอมรับได้ สามารถสรุปได้ว่าอายุการเก็บรักษาที่สภาวะปกติของพาสต้าสำเร็จรูปในซองพลาสติกทั้งสองชนิดมากกว่า 12 สัปดาห์หรือมากกว่า 3 เดือน

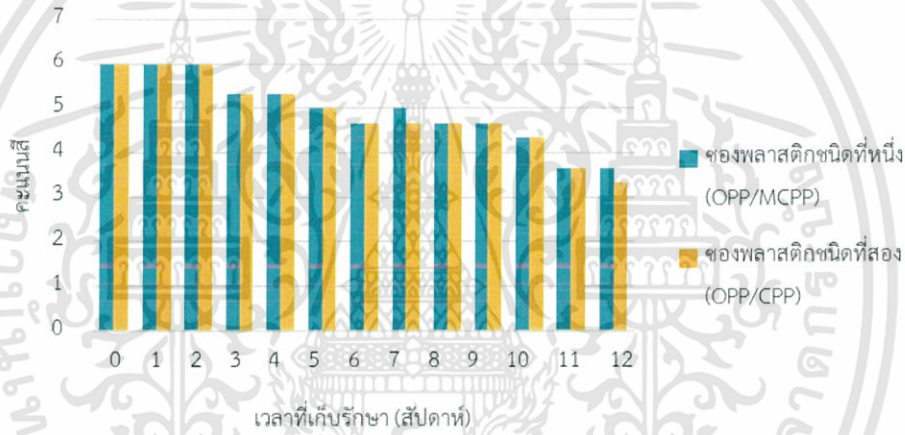
ตารางที่ 4.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนคุณภาพโดยรวม		คะแนนคุณภาพสี		คะแนนคุณภาพกลิ่น		คะแนนคุณภาพ	
	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2	ซองพลาสติกชนิดที่ 1	ซองพลาสติกชนิดที่ 2
0	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)
1	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)
2	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)	6.0 (0.0)
3	5.0 (1.0)	5.0 (1.0)	5.3 (0.6)	5.3 (0.6)	4.7 (0.6)	4.7 (1.2)	4.7 (1.2)	4.7 (1.2)
4	5.0 (1.0)	4.7 (1.5)	5.3 (0.6)	5.3 (0.6)	4.7 (0.6)	4.3 (1.2)	5.0 (1.0)	4.7 (1.5)
5	4.3 (1.2)	4.0 (1.0)	5.0 (1.0)	5.0 (0.0)	4.0 (1.0)	3.7 (0.6)	4.3 (1.2)	4.0 (1.0)
6	4.3 (1.5)	4.0 (1.0)	4.7 (1.2)	4.7 (1.2)	3.7 (1.2)	3.3 (0.6)	4.0 (1.7)	3.7 (1.2)
7	4.0 (0.0)	3.3 (0.6)	5.0 (1.0)	4.7 (1.5)	4.0 (0.0)	3.3 (0.6)	4.3 (0.6)	3.3 (0.6)
8	4.0 (0.0)	4.0 (0.5)	4.7 (1.5)	4.7 (0.6)	3.8 (0.3)	3.3 (0.6)	4.3 (0.6)	4.0 (0.0)
9	3.5 (0.9)	3.0 (1.0)	4.7 (1.2)	4.7 (1.2)	3.3 (0.6)	2.7 (0.6)	3.3 (0.6)	3.0 (1.0)
10	3.8 (0.8)	3.3 (0.8)	4.3 (0.6)	4.3 (0.6)	3.2 (0.3)	3.0 (1.0)	3.7 (0.6)	3.3 (0.6)
11	3.0 (0.0)	2.7 (0.6)	3.7 (0.6)	3.7 (0.6)	3.0 (0.0)	2.3 (0.6)	3.0 (0.0)	2.3 (0.6)
12	3.0 (1.0)	2.0 (0.0)	3.7 (0.6)	3.3 (0.6)	3.0 (0.0)	2.0 (0.0)	3.0 (0.0)	2.0 (0.0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

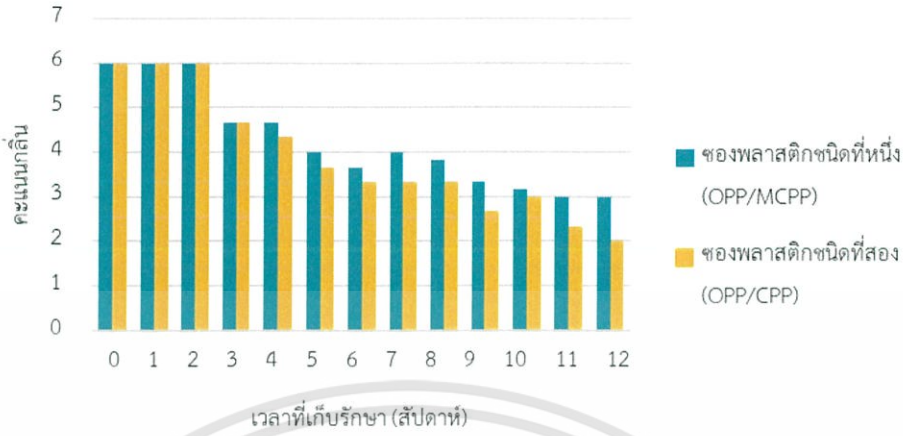


(ก)

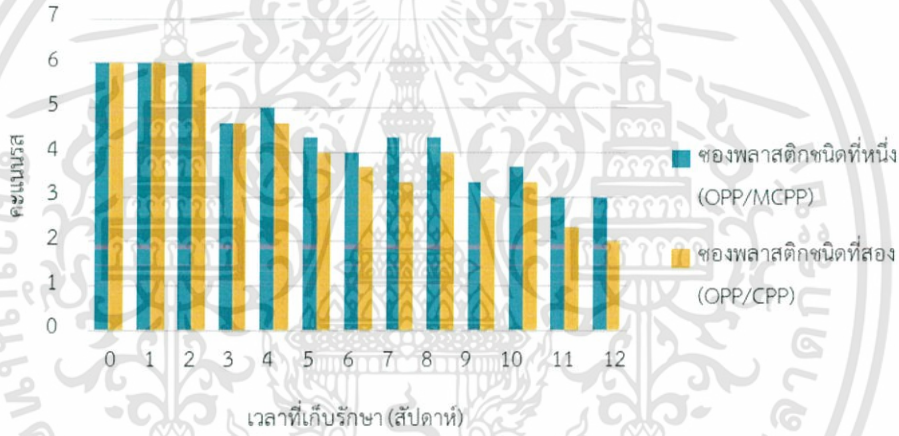


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.2 (ก) คะแนนโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

(ข) คะแนนสีของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

(ค) คะแนนกลิ่นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

(ง) คะแนนรสของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 คะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณภาพสี คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกทั้งสองชนิดซึ่งเก็บในสภาวะเร่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ที่สัปดาห์เริ่มต้นถึงสัปดาห์ที่ 2 คะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพสี คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติระหว่างพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สองจะเท่ากัน แต่ที่สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 12 คะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง มากกว่าคะแนนคุณภาพโดยรวม คะแนนคุณภาพกลิ่น และคะแนนคุณภาพรสชาติของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สอง ส่วนคะแนนคุณภาพสีระหว่างพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองนั้นส่วนใหญ่เท่ากัน ดังนั้นชนิดของซองพลาสติกส่งผลให้พาสต้าสำเร็จรูปมีความแตกต่างกันในเรื่องคุณภาพโดยรวม คุณภาพกลิ่น และคุณภาพรสชาติ จนผู้ทดสอบสามารถตรวจพบได้ ที่เวลาการเก็บรักษาเท่ากับ 12 สัปดาห์ คะแนนคุณภาพโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งมากกว่า 2 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ และคะแนนคุณภาพโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองเท่ากับ 2 คะแนน ซึ่งเป็นขีดจำกัดของช่วงคะแนนที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ สามารถสรุปได้ว่าอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งมากกว่า 12 สัปดาห์ และที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองเท่ากับ 12 สัปดาห์

4.2 การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำและความชื้น

4.2.1 แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูป

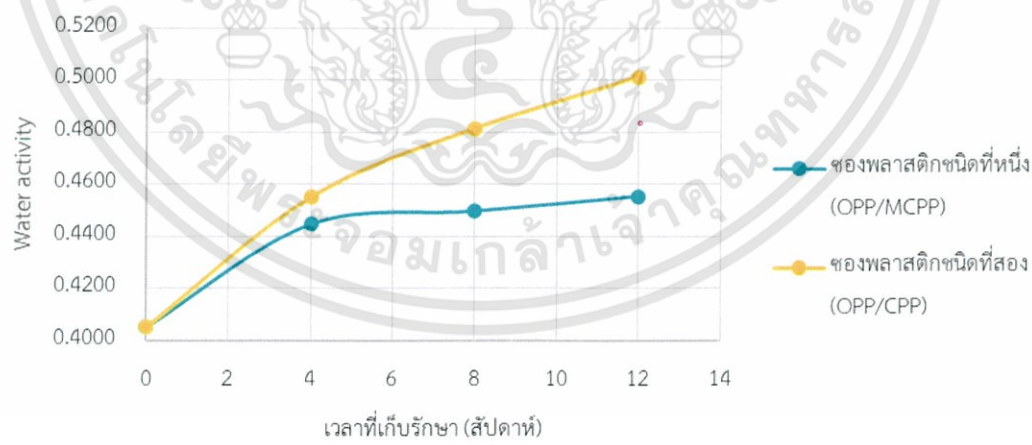
ตารางที่ 4.3 แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูป	
	ซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง	ซองพลาสติกชนิดที่สอง
0	0.4053 (0.0081)	0.4053 (0.0081)
4	0.4447 (0.0138)	0.4553 (0.0097)
8	0.4497 (0.0047)	0.4817 (0.0042)
12	0.4553 (0.0035)	0.5013 (0.0040)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

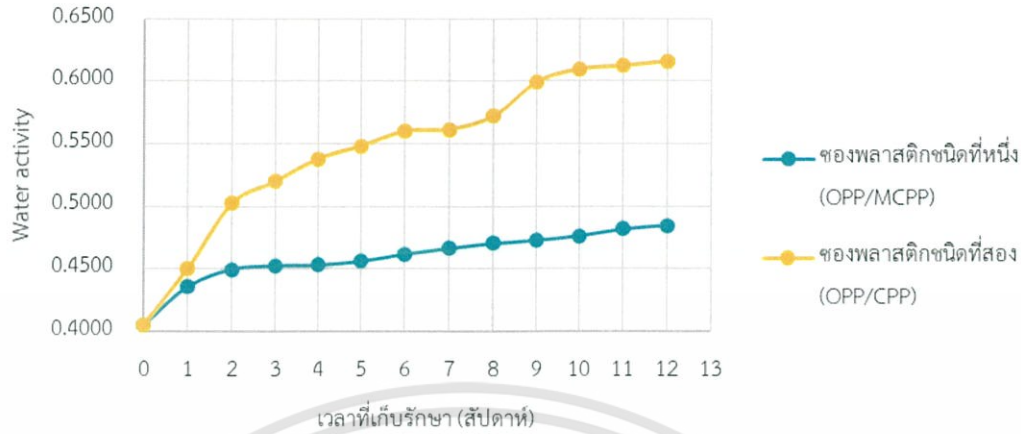
ตารางที่ 4.4 แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูป	
	ซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง	ซองพลาสติกชนิดที่สอง
0	0.4053 (0.0081)	0.4053 (0.0081)
1	0.4357 (0.0110)	0.4503 (0.0050)
2	0.4497 (0.0096)	0.5023 (0.0067)
3	0.4523 (0.0055)	0.5200 (0.0010)
4	0.4530 (0.0096)	0.5380 (0.0027)
5	0.4560 (0.0017)	0.5483 (0.0031)
6	0.4617 (0.0038)	0.5600 (0.0080)
7	0.4663 (0.0050)	0.5617 (0.0015)
8	0.4703 (0.0148)	0.5723 (0.0038)
9	0.4723 (0.0021)	0.5993 (0.0057)
10	0.4763 (0.0080)	0.6097 (0.0035)
11	0.4817 (0.0076)	0.6123 (0.0110)
12	0.4847 (0.0012)	0.6160 (0.0010)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

ภาพที่ 4.3 (ก) การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำที่สภาวะปกติ

(ข) การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำที่สภาวะเร่ง

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 และภาพที่ 4.3 แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกทั้งสองชนิดซึ่งเก็บในสภาวะปกติและสภาวะเร่ง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สอง เพิ่มขึ้นมากกว่าแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแอกติวิตีของน้ำ พบว่า ชนิดของซองพลาสติก เวลาในการเก็บรักษา และปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของซองพลาสติกและเวลาในการเก็บรักษา มีผลทำให้แอกติวิตีของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F critical*
Storage time	0.0183	3	0.0061	100.6717	1.34E-10	3.2389
Type of pasta sachet	0.0029	1	0.0029	48.7636	3.09E-06	4.4940
Interaction	0.0019	3	0.0006	10.6547	0.0004	3.2389
Within	0.0010	16	6.05E-05			
Total	0.0241	23				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F critical*
Storage time	0.1295	12	0.0108	235.4908	7.45E-41	1.9436
Type of pasta sachet	0.1473	1	0.1473	3214.5730	1.97E-48	4.0266
Interaction	0.0336	12	0.0028	61.0946	2.72E-26	1.9436
Within	0.0024	52	4.58E-05			
Total	0.3128	77				

4.2.2 ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.7 ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

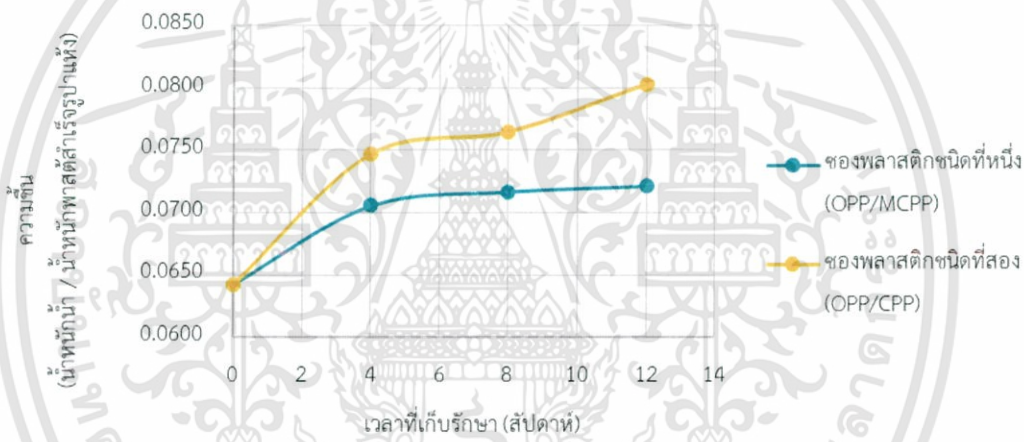
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป (น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง)	
	ซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง	ซองพลาสติกชนิดที่สอง
0	0.0642 (0.0002)	0.0642 (0.0002)
4	0.0706 (0.0002)	0.0747 (0.0019)
8	0.0717 (0.0015)	0.0765 (0.0006)
12	0.0722 (0.0016)	0.0803 (0.0004)

ตารางที่ 4.8 ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป (น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง)	
	ซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง	ซองพลาสติกชนิดที่สอง
0	0.0642 (0.0002)	0.0642 (0.0002)
1	0.0686 (0.0001)	0.0690 (0.0006)
2	0.0708 (0.0005)	0.0774 (0.0014)
3	0.0720 (0.0008)	0.0815 (0.0005)

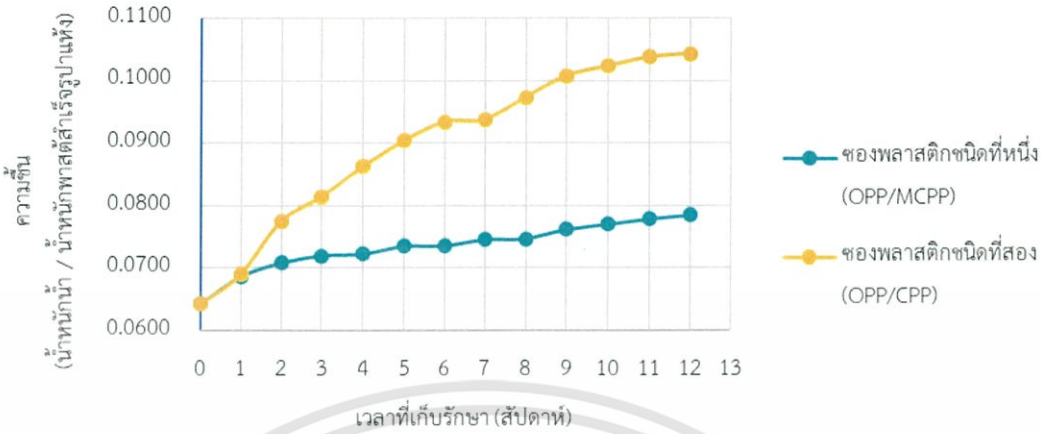
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	0.0723 (0.0003)	0.0863 (0.0024)
5	0.0735 (0.0010)	0.0904 (0.0034)
6	0.0736 (0.0010)	0.0934 (0.0016)
7	0.0745 (0.0008)	0.0938 (0.0009)
8	0.0747 (0.0008)	0.0973 (0.0006)
9	0.0762 (0.0009)	0.1008 (0.0023)
10	0.0770 (0.0003)	0.1024 (0.0026)
11	0.0778 (0.0015)	0.1038 (0.0020)
12	0.0784 (0.0002)	0.1043 (0.0011)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

ภาพที่ 4.4 (ก) การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่สภาวะปกติ

(ข) การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่สภาวะเร่ง

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 และภาพที่ 4.4 ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกทั้งสองชนิดซึ่งเก็บในสภาวะปกติและสภาวะเร่ง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สอง เพิ่มขึ้นมากกว่าความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับความชื้นพบว่า ชนิดของซองพลาสติก เวลาในการเก็บรักษา และปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของซองพลาสติกและเวลาในการเก็บรักษา มีผลทำให้ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติ

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F critical*
Storage time	0.0005	3	0.0002	142.9594	9.19E-12	3.2389
Type of pasta sachet	0.0001	1	0.0001	94.9119	3.95E-08	4.4940
Interaction	5.08E-05	3	1.69E-05	14.5928	7.68E-05	3.2389
Within	1.86E-05	16	1.16E-06			
Total	0.0007	23				

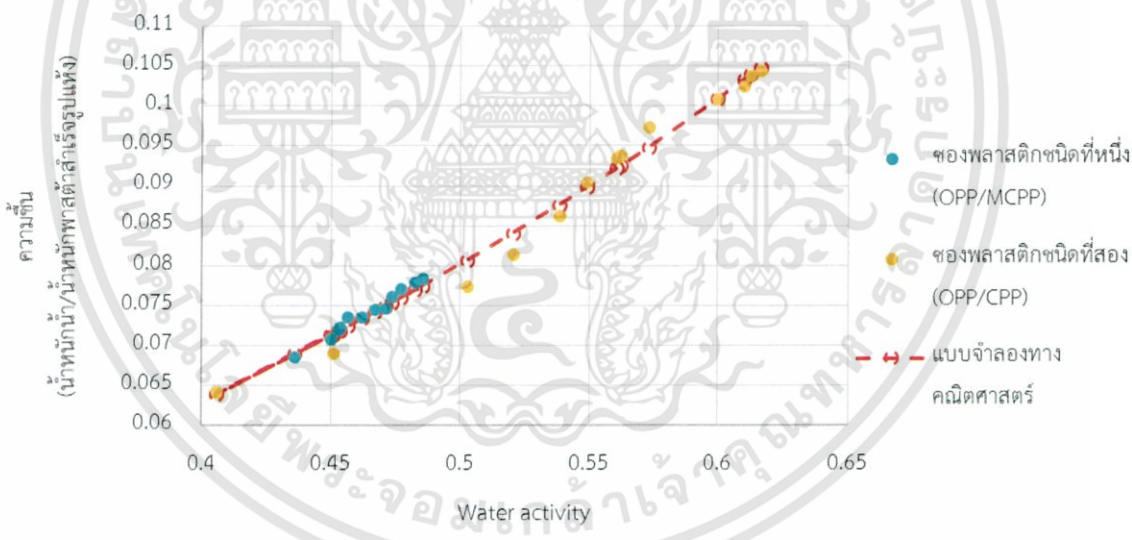
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ANOVA สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่ง

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F critical*
Storage time	0.0052	12	0.0004	239.1863	5.01E-41	1.9436
Type of pasta sachet	0.0051	1	0.0051	2812.9500	5.98E-47	4.0266
Interaction	0.0016	12	0.0001	72.8030	3.96E-28	1.9436
Within	9.49E-05	52	1.82E-06			
Total	0.0121	77				

4.3 การหาอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งจากการคำนวณโดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

4.3.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป



ภาพที่ 4.5 ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป

จากการสร้างไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปด้วยค่าแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่งและค่าความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะเร่งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปแสดงดังภาพที่ 4.5 ค่าคงที่และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร GAB model, BET model, Oswin model, Halsey model และ Henderson model แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

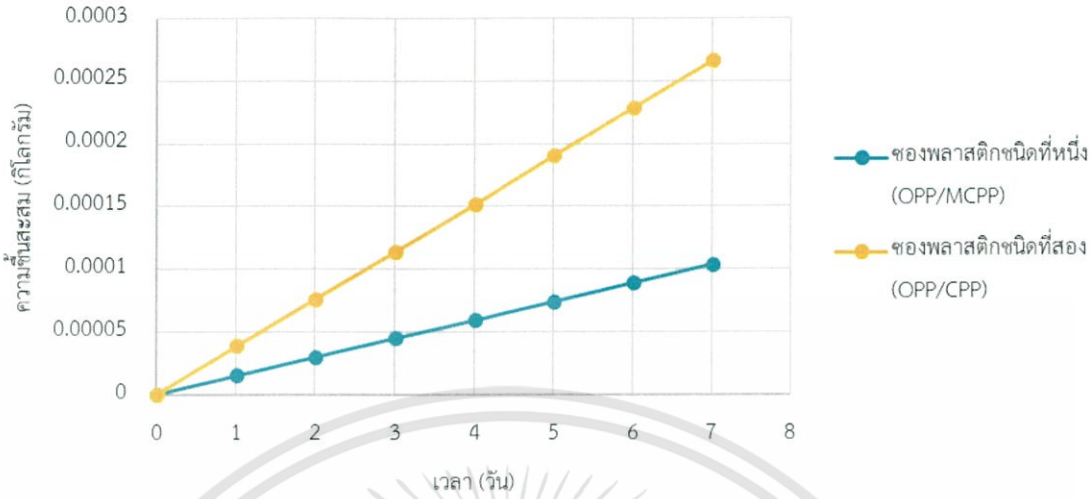
แบบจำลอง	X_0	C	K	A	n	R^2	χ^2	RMSE
GAB	0.0677	3.6006	0.8051	-	-	0.9998	1.63E-06	0.0013
BET	0.0492	3.9918	-	-	-	0.9984	1.08E-05	0.0033
Oswin	-	-	-	0.0801	0.5742	0.9998	1.66E-06	0.0013
Halsey	-	-	-	0.0271	1.2825	0.9997	1.84E-06	0.0014
Henderson	-	-	-	15.3407	1.2289	0.9998	1.65E-06	0.0013

จากตารางที่ 4.11 พบว่าสมการ GAB model มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มากกว่าสมการ BET model, Oswin model, Halsey model และ Henderson model และสมการ GAB model มีค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) และค่ารางที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) น้อยกว่าสมการ BET model, Oswin model, Halsey model และ Henderson model ดังนั้นสมการ GAB model จึงสามารถใช้ทำนายไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปได้เหมาะสมที่สุด ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบซิกมอยด์ (Sigmoid) ซึ่งจัดเป็นกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น แบบ Type II isotherm ตามการจำแนกกราฟไอโซเทอร์มของ BET เนื่องจากค่าคงที่ C ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ GAB model มีค่ามากกว่า 2 และค่าคงที่ K ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ GAB model มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

4.3.2 ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

จากการทดลองเพื่อหาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 หรือที่สภาวะเร่ง ของซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและซองพลาสติกชนิดที่สอง ด้วยการนำซิลิกาเจลบรรจุใส่ในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและซองพลาสติกชนิดที่สอง หาค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวันของแต่ละซองพลาสติก และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นกับจำนวนวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ความชื้นสะสมของซิลิกาเจลที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง

ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 หรือที่สภาวะเร่งของซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สองคือ 1.34×10^{-7} และ 3.44×10^{-7} กิโลกรัมต่อวันต่อตารางเมตรต่อพาสคาล ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำที่สภาวะปกติไม่สามารถหาได้เนื่องจากที่สภาวะปกติไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ จะเห็นว่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของซองพลาสติกชนิดที่สองมากกว่าซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง นั่นคือเหตุผลที่ทำให้ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองมากกว่าความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง

4.3.3 อายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูป

อายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกทั้งสองชนิดสามารถคำนวณได้จากการแทนค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ น้ำหนักเริ่มต้นของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พื้นที่ผิวของซองพลาสติก ความชื้นสัมพัทธ์ แอกติวิตีของน้ำ ความชื้นเริ่มต้นของพาสต้าสำเร็จรูป และความชื้นวิกฤติของพาสต้าสำเร็จรูป ลงในสมการคำนวณหาอายุการเก็บรักษา เนื่องจากความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 5.5 – 8.5 ร้อยละน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้า หรือ 0.0582 – 0.0930 น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง และแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปถูกกำหนดให้ไม่เกิน 0.55 เมื่อความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปเท่ากับ 0.0930 น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง ถูกพิจารณาเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นวิกฤต แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่สัมพันธ์กับความชื้นวิกฤตินี้ถูกคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ GAB model แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่คำนวณได้จากแบบจำลองคือ 0.5642 ซึ่งแอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่คำนวณได้จากแบบจำลองสูงกว่าที่ถูกกำหนด ดังนั้นจึงใช้แอกติวิตีของน้ำของพาสต้าสำเร็จรูปที่ถูกกำหนดหาความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สัมพันธ์กัน โดยใช้แบบจำลองจากคณิตศาสตร์ GAB model ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่คำนวณได้จากแบบจำลองคือ 0.0900 น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง ซึ่งความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่คำนวณได้จากแบบจำลองอยู่ระหว่างความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่ถูกกำหนด ความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปเท่ากับ 0.0900 น้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของพาสต้าสำเร็จรูปแห้ง จึงถูกพิจารณาเป็นความชื้นวิกฤต ดังนั้นอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งประมาณ 17 สัปดาห์ หรือ 119 วัน และอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปในซองพลาสติกชนิดที่สองประมาณ 6 สัปดาห์ หรือ 46 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

อายุการเก็บรักษาที่สภาวะปกติซึ่งได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สองมากกว่า 12 สัปดาห์ เนื่องจากคะแนนคุณภาพโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สองมากกว่า 2 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ และอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งซึ่งได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งมากกว่า 12 สัปดาห์ เนื่องจากคะแนนคุณภาพโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งมากกว่า 2 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ ส่วนอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งซึ่งได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองเท่ากับ 12 สัปดาห์ เนื่องจากคะแนนคุณภาพโดยรวมของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองเท่ากับ 2 คะแนน ซึ่งเป็นขีดจำกัดของช่วงคะแนนที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ ดังนั้นซองพลาสติกชนิดที่สองจึงไม่เหมาะสมสำหรับบรรจุพาสต้าสำเร็จรูป เนื่องจากอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองน้อยกว่า 14 สัปดาห์

แอกติวิตีของน้ำและความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่สภาวะปกติและสภาวะเร่งที่เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากระยะเวลาในการเก็บรักษา ชนิดของซองพลาสติก และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษาและชนิดของซองพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่สภาวะปกติและสภาวะเร่ง แอกติวิตีของน้ำและความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองสูงกว่าแอกติวิตีของน้ำและความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดหนึ่ง

ค่าแอกติวิตีของน้ำและความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปจากการทดลองที่สภาวะเร่ง จะใช้ในการสร้างไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปเป็นแบบซิกมอยด์ ซึ่งจัดเป็นกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นแบบ Type II isotherm และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ GAB model เหมาะสมที่สุดสำหรับอธิบายไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูป ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำที่สภาวะเร่งของซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ 1.34×10^{-7} และ 3.44×10^{-7} กิโลกรัมต่อวันต่อตารางเมตรต่อพาสคาล ตามลำดับ อายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและซองพลาสติกชนิดที่สองซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นและค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำคือ 17 สัปดาห์ และ 6 สัปดาห์ ตามลำดับ อายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สองน้อยกว่า 14 สัปดาห์ ดังนั้นซองพลาสติกชนิดที่สองจึงไม่เหมาะสมสำหรับบรรจุพาสต้าสำเร็จรูป

บรรจุภัณฑ์สำหรับพาสต้าสำเร็จรูปคือ พาสต้าสำเร็จรูปจะถูกบรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งซึ่งได้จากฟิล์มพลาสติก Orient Polypropylene ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Metalized Cast Polypropylene และซองพลาสติกนี้จะถูกบรรจุในถ้วยกระดาษ ดังนั้นสามารถลดต้นทุนจากการทำบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุพาสต้าสำเร็จรูปได้ 1.32 บาทต่อบรรจุภัณฑ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Multiple comparison test เหมาะสำหรับการประเมินตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลายๆตัวอย่างในการประเมินครั้งหนึ่งๆ วิธีนี้สามารถใช้ในการเปรียบเทียบภายในกลุ่มตัวอย่างและระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

2) การประเมินอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งของพาสต้าสำเร็จรูป สามารถประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส และจากการคำนวณโดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชนันท์ ราษฎ์นิยม และสุเนตร สืบค้า. 2555. "การหาไอโซเทอร์มความชื้นของวัสดุที่แลกเปลี่ยนความชื้นได้ดี." **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.** 18(1) : 43-51.

ธงชัย สวุรรณสชิณน์ และคณะ. 2544. "การประยุกต์ใช้แบบจำ ลองทางคณิตศาสตร์ทำนายไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของฟลาวข้านิดต่างๆ." หน้า 515-521. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39.** กรุงเทพฯ :มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระพล ศิลกุล. 2545. "การหาสมการความชื้นสมดุลของถั่วเขียว." **วิทยาศาสตร์เกษตร.** 33(6) : 305-309.

รองศาสตราจารย ดร. ไพโรจน วิริยจารี. 2545. **การประเมินทางประสาทสัมผัส.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม.

วัฒนา ดำรงรัตน์กุล และอนุวัตร แจ้งชัด. **แบบจำลองของการดูดซับความชื้นและการอบแห้งของผักแผ่นปรุงรส.** [Online]. Available : http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC4406065.pdf.

วิวัฒน หวังเจริญ. 2553. "แอกติวิตีของน้ำ และการศึกษาอายุการเก็บของอาหารแห้ง." **Food.** 4(4) : 277-281.

ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ และกรรณิการ ยิ้มนาค. รายงานผลการสัมมนา Plastic Packaging and the Shelf Life of Food. [Online]. Available : http://www.stou.ac.th/Schools/sst/main/KM/KM%20Post/57.

สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และเกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. 2557. "ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง" **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 42(1) : 25-37.

อาภัสสร ศิริจริยวัตร และคณะ. 2558. "ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเทา." **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 43(3) : 459-468.

เอกราช สิงห์ประสาท และคณะ. 2556. "ไอโซเทอร์มการดูดซับน้ำของแป้งกล้วย." **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์.** 44(2) : 185-188.

Binko Tirkey. :/et al. 2014. "Evaluation of physico-chemical changes of fresh-cut unripe papaya during storage." **Food Packaging and Shelf Life.** 1(1) : 190-197.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C.M.D. Man and A.A. Jones. 2003. **Shelf Life Evaluation of Foods.** 2nd ed. London : BLACKIE ACADEMIC & PROFESSIONAL.

Diana Twede Ph.D. ;/et al. 2015. **Cartons, Crates and Corrugated Board Handbook of Paper and Wood Packaging Technology.** 2nd ed. United State of America : DESTest Publication, Inc.

E.O. Timmermann. 2001. "Water sorption isotherms of foods and foodstuffs : BET or GAB parameters." **Journal of Food Engineering.** 48(1) : 19-31.

Gordon L. Robertson. 2013. **Food Packaging Principle and Practice.** 3rd ed. New York : CRC Press.

Gordon L. Robertson. 2009. **Food Packaging and Shelf Life A Practical Guild.** 1st ed. New York : CRC Press.

JAYA and H.DAS. 2005. "Accelerated storage, shelf life and color of mango powder." **Journal of Food Processing and Preservation.** 29(1) : 45-62.

Jirí Blahovec. 2004. "Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach." **Journal of Food Engineering.** 65(1) : 489-495.

Jirí Blahovec and Stavros Yanniotis. 2008. "GAB Generalized Equation for Sorption Phenomena." **Food Bioprocess Technology.** 1(1) : 82–90.

Manish Dak. ;/et al. 2014. "Shelf-life and kinetics of quality change of dried pomegranate arils in flexible packaging." **Food Packaging and Shelf Life.** 2(1) : 1-6.

Mohammad Rezaul Islam Shishir. ;/et al. 2017. "Effect of packaging material and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder." **Food Packaging and Shelf Life.** 12(1) : 83-90.

Pradyuman Kumar, H.N. Mishra. 2004. "Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging material: HDPP and ALP." **Journal of Food Engineering.** 65(1) : 569-576.

Ricardo D. ANDRADE P. ;/et al. 2011. "Model of Sorption Isotherms for Food." **VITAE.** 18(3) : 325-334.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Santanu Basu. ;/et al. 2006. "Models for Sorption Isotherms for Foods: A Review." **Drying Technology.** 24(1) : 917-930.

Stavros Yanniotis. 2008. "GAB Generalized Equation for Sorption Phenomena." **Food Bioprocess Technology.** 1(1) : 82-90.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบ

ตารางบันทึกวอเตอร์แอกติวิตี

เวลาที่การเก็บรักษา (week)	จำนวนครั้ง	วอเตอรุแอกติวิตี					
		ซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง (OPP/MCPP)			ซองพลาสติกชนิดที่สอง (OPP/CPP)		
		สภาวะอุณหภูมิต่ำ	สภาวะปกติ	สภาวะเร่ง	สภาวะอุณหภูมิต่ำ	สภาวะปกติ	สภาวะเร่ง
0	1	0.398			0.398		
	2	0.414			0.414		
	3	0.404			0.404		
1	1	0.405		0.423	0.409		0.445
	2	0.408		0.441	0.414		0.451
	3	0.405		0.443	0.423		0.455
2	1	0.44		0.448	0.437		0.495
	2	0.445		0.441	0.446		0.508
	3	0.446		0.46	0.442		0.504
3	1	0.446		0.447	0.459		0.521
	2	0.458		0.452	0.461		0.519
	3	0.478		0.458	0.458		0.52
4	1	0.435	0.455	0.457	0.455	0.466	0.535
	2	0.436	0.429	0.442	0.45	0.447	0.54
	3	0.447	0.45	0.46	0.45	0.453	0.539
5	1	0.449		0.454	0.439		0.549
	2	0.418		0.457	0.451		0.551
	3	0.431		0.457	0.461		0.545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	1	0.457		0.466	0.441		0.568
	2	0.435		0.46	0.445		0.56
	3	0.439		0.459	0.448		0.552
7	1	0.423		0.471	0.473		0.563
	2	0.462		0.461	0.479		0.562
	3	0.459		0.467	0.455		0.56
8	1	0.438	0.455	0.483	0.434	0.477	0.574
	2	0.437	0.448	0.454	0.446	0.485	0.575
	3	0.442	0.446	0.474	0.437	0.483	0.568
9	1	0.447		0.471	0.464		0.604
	2	0.434		0.472	0.443		0.601
	3	0.435		0.475	0.453		0.593
10	1	0.442		0.477	0.462		0.61
	2	0.444		0.468	0.456		0.613
	3	0.44		0.484	0.467		0.606
11	1	0.409		0.485	0.458		0.621
	2	0.42		0.487	0.458		0.616
	3	0.421		0.473	0.465		0.6
12	1	0.447	0.455	0.486	0.447	0.506	0.615
	2	0.449	0.459	0.484	0.451	0.499	0.617
	3	0.444	0.452	0.484	0.465	0.499	0.616

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง

เวลาที่การเก็บรักษา (week)	จำนวนครั้ง	สภาวะอุณหภูมิต่ำ					สภาวะปกติ					สภาวะเร่ง				
		น้ำหนัก (g)			ความชื้น		น้ำหนัก (g)			ความชื้น		น้ำหนัก (g)			ความชื้น	
		รวม	พาสต้าแห้ง	น้ำ	Wet basis (%, น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักรวม)	Dry basis (น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักพาสต้าแห้ง)	รวม	พาสต้าแห้ง	น้ำ	Wet basis (%, น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักรวม)	Dry basis (น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักพาสต้าแห้ง)	รวม	พาสต้าแห้ง	น้ำ	Wet basis (%, น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักรวม)	Dry basis (น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักพาสต้าแห้ง)
0	1	4.5000	4.2278	0.2723	6.05	0.0644	4.5000	4.2278	0.2723	6.05	0.0644	4.5000	4.2278	0.2723	6.05	0.0644
	2	4.5410	4.2676	0.2734	6.02	0.0641	4.5410	4.2676	0.2734	6.02	0.0641	4.5410	4.2676	0.2734	6.02	0.0641
	3	4.5480	4.2733	0.2747	6.04	0.0643	4.5480	4.2733	0.2747	6.04	0.0643	4.5480	4.2733	0.2747	6.04	0.0643
1	1	4.5500	4.2647	0.2853	6.27	0.0669	[redacted]					4.5370	4.2462	0.2908	6.41	0.0685
	2	4.5610	4.2677	0.2933	6.43	0.0687						4.5490	4.2570	0.2920	6.42	0.0686
	3	4.5250	4.2377	0.2873	6.35	0.0678						4.5250	4.2340	0.2910	6.43	0.0687
2	1	4.5430	4.2491	0.2939	6.47	0.0692						4.5280	4.2292	0.2988	6.60	0.0707
	2	4.5340	4.2379	0.2961	6.53	0.0699						4.5350	4.2330	0.3020	6.66	0.0714
	3	4.5410	4.2540	0.2870	6.32	0.0675						4.5540	4.2543	0.2997	6.58	0.0704

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	1	4.5100	4.2101	0.2999	6.65	0.0712						4.5080	4.2060	0.3020	6.70	0.0718
	2	4.5040	4.2054	0.2986	6.63	0.0710						4.5060	4.2059	0.3001	6.66	0.0714
	3	4.5180	4.2176	0.3004	6.65	0.0712						4.5220	4.2150	0.3070	6.79	0.0728
4	1	4.5320	4.2333	0.2987	6.59	0.0705	4.5340	4.2343	0.2997	6.61	0.0708	4.5480	4.2424	0.3056	6.72	0.0720
	2	4.5520	4.2525	0.2995	6.58	0.0704	4.5510	4.2515	0.2995	6.58	0.0704	4.5180	4.2121	0.3059	6.77	0.0726
	3	4.5370	4.2398	0.2972	6.55	0.0701	4.5220	4.2240	0.2980	6.59	0.0705	4.5290	4.2237	0.3053	6.74	0.0723
5	1	4.5520	4.2579	0.2941	6.46	0.0691						4.5530	4.2452	0.3078	6.76	0.0725
	2	4.5170	4.2229	0.2941	6.51	0.0696						4.5270	4.2128	0.3142	6.94	0.0746
	3	4.5000	4.2062	0.2939	6.53	0.0699						4.5300	4.2201	0.3099	6.84	0.0734
6	1	4.5100	4.2169	0.2932	6.50	0.0695						4.5060	4.1928	0.3132	6.95	0.0747
	2	4.5060	4.2041	0.3019	6.70	0.0718						4.5040	4.1973	0.3067	6.81	0.0731
	3	4.5150	4.2220	0.2930	6.49	0.0694						4.5120	4.2052	0.3068	6.80	0.0730
7	1	4.5420	4.2472	0.2948	6.49	0.0694						4.5180	4.2081	0.3099	6.86	0.0737
	2	4.5310	4.2338	0.2972	6.56	0.0702						4.5000	4.1868	0.3132	6.96	0.0748
	3	4.5110	4.2110	0.3000	6.65	0.0712						4.5220	4.2059	0.3161	6.99	0.0752
8	1	4.5120	4.2210	0.2910	6.45	0.0689	4.5350	4.2384	0.2966	6.54	0.0700	4.5180	4.2045	0.3135	6.94	0.0746
	2	4.5060	4.2086	0.2974	6.60	0.0707	4.5180	4.2139	0.3041	6.73	0.0722	4.5150	4.1980	0.3170	7.02	0.0755
	3	4.1860	3.9152	0.2708	6.47	0.0692	4.5130	4.2061	0.3069	6.80	0.0730	4.5150	4.2039	0.3111	6.89	0.0740

9	1	4.5140	4.2210	0.2930	6.49	0.0694						4.5010	4.1864	0.3146	6.99	0.0752
	2	4.5040	4.2040	0.3000	6.66	0.0714						4.5000	4.1810	0.3191	7.09	0.0763
	3	4.5420	4.2309	0.3111	6.85	0.0735						4.5040	4.1820	0.3220	7.15	0.0770
10	1	4.5340	4.2370	0.2970	6.55	0.0701						4.5250	4.2028	0.3222	7.12	0.0767
	2	4.5330	4.2452	0.2878	6.35	0.0678						4.5120	4.1889	0.3231	7.16	0.0771
	3	4.4860	4.2020	0.2840	6.33	0.0676						4.5200	4.1959	0.3241	7.17	0.0772
11	1	4.5140	4.2224	0.2916	6.46	0.0691						4.5050	4.1739	0.3311	7.35	0.0793
	2	4.5070	4.2271	0.2799	6.21	0.0662						4.5200	4.1932	0.3268	7.23	0.0779
	3	4.5450	4.2600	0.2850	6.27	0.0669						4.5250	4.2042	0.3208	7.09	0.0763
12	1	4.5250	4.2209	0.3041	6.72	0.0720	4.5060	4.2091	0.2969	6.59	0.0705	4.5130	4.1849	0.3281	7.27	0.0784
	2	4.5100	4.2101	0.2999	6.65	0.0712	4.5010	4.1981	0.3029	6.73	0.0722	4.5160	4.1881	0.3279	7.26	0.0783
	3	4.5000	4.1985	0.3015	6.70	0.0718	4.5260	4.2151	0.3109	6.87	0.0738	4.5030	4.1747	0.3283	7.29	0.0786

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกความชื้นของพาสต้าสำเร็จรูปที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่สอง

เวลาที่การเก็บรักษา (week)	จำนวนครั้ง	สภาวะอุณหภูมิต่ำ					สภาวะปกติ					สภาวะเร่ง				
		น้ำหนัก (g)			ความชื้น		น้ำหนัก (g)			ความชื้น		น้ำหนัก (g)			ความชื้น	
		รวม	พาสต้าแห้ง	น้ำ	Wet basis (%, น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักรวม)	Dry basis (น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักพาสต้าแห้ง)	รวม	พาสต้าแห้ง	น้ำ	Wet basis (%, น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักรวม)	Dry basis (น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักพาสต้าแห้ง)	รวม	พาสต้าแห้ง	น้ำ	Wet basis (%, น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักรวม)	Dry basis (น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักพาสต้าแห้ง)
0	1	4.5000	4.2278	0.2723	6.05	0.0644	4.5000	4.2278	0.2723	6.05	0.0644	4.5000	4.2278	0.2723	6.05	0.0644
	2	4.5410	4.2676	0.2734	6.02	0.0641	4.5410	4.2676	0.2734	6.02	0.0641	4.5410	4.2676	0.2734	6.02	0.0641
	3	4.5480	4.2733	0.2747	6.04	0.0643	4.5480	4.2733	0.2747	6.04	0.0643	4.5480	4.2733	0.2747	6.04	0.0643
1	1	4.5540	4.2653	0.2887	6.34	0.0677	[redacted]					4.5380	4.2476	0.2904	6.40	0.0684
	2	4.5520	4.2611	0.2909	6.39	0.0683						4.5210	4.2276	0.2934	6.49	0.0694
	3	4.5560	4.2658	0.2902	6.37	0.0680						4.5250	4.2318	0.2932	6.48	0.0693
2	1	4.5430	4.2491	0.2939	6.47	0.0692						4.5500	4.2290	0.3210	7.06	0.0759
	2	4.5340	4.2379	0.2961	6.53	0.0699						4.5560	4.2243	0.3317	7.28	0.0785
	3	4.5410	4.2540	0.2870	6.32	0.0675						4.5610	4.2317	0.3293	7.22	0.0778

ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	1	4.5340	4.2302	0.3038	6.70	0.0718						4.5150	4.1759	0.3391	7.51	0.0812
	2	4.5300	4.2242	0.3058	6.75	0.0724						4.5520	4.2101	0.3419	7.51	0.0812
	3	4.5280	4.2215	0.3065	6.77	0.0726						4.5410	4.1968	0.3442	7.58	0.0820
4	1	4.5500	4.2483	0.3017	6.63	0.0710	4.5220	4.2100	0.3120	6.90	0.0741	4.5300	4.1807	0.3493	7.71	0.0835
	2	4.5050	4.1991	0.3059	6.79	0.0728	4.5390	4.2149	0.3241	7.14	0.0769	4.5000	4.1373	0.3627	8.06	0.0877
	3	4.5220	4.2150	0.3070	6.79	0.0728	4.5000	4.1931	0.3069	6.82	0.0732	4.5170	4.1534	0.3636	8.05	0.0875
5	1	4.5250	4.2241	0.3009	6.65	0.0712						4.5120	4.1249	0.3871	8.58	0.0939
	2	4.5010	4.1936	0.3074	6.83	0.0733						4.5020	4.1292	0.3728	8.28	0.0903
	3	4.5050	4.2014	0.3036	6.74	0.0723						4.5140	4.1524	0.3616	8.01	0.0871
6	1	4.5120	4.2110	0.3010	6.67	0.0715						4.5000	4.1220	0.3780	8.40	0.0917
	2	4.5050	4.2036	0.3014	6.69	0.0717						4.5140	4.1272	0.3868	8.57	0.0937
	3	4.5030	4.2049	0.2981	6.62	0.0709						4.5070	4.1167	0.3903	8.66	0.0948
7	1	4.5300	4.2319	0.2981	6.58	0.0704						4.5010	4.1112	0.3898	8.66	0.0948
	2	4.5050	4.2099	0.2951	6.55	0.0701						4.5160	4.1299	0.3861	8.55	0.0935
	3	4.5220	4.2249	0.2971	6.57	0.0703						4.5290	4.1431	0.3859	8.52	0.0931
8	1	4.5010	4.1949	0.3061	6.80	0.0730	4.5090	4.1889	0.3201	7.10	0.0764	4.5060	4.1041	0.4019	8.92	0.0979
	2	4.5100	4.2119	0.2981	6.61	0.0708	4.5130	4.1899	0.3231	7.16	0.0771	4.5150	4.1168	0.3982	8.82	0.0967
	3	4.5060	4.2041	0.3019	6.70	0.0718	4.5020	4.1842	0.3178	7.06	0.0760	4.5090	4.1091	0.3999	8.87	0.0973

9	1	4.5130	4.2233	0.2897	6.42	0.0686						4.5150	4.0919	0.4231	9.37	0.1034
	2	4.5320	4.2270	0.3050	6.73	0.0722						4.4950	4.0891	0.4059	9.03	0.0993
	3	4.5030	4.2031	0.2999	6.66	0.0714						4.5040	4.0955	0.4085	9.07	0.0997
10	1	4.5130	4.2030	0.3100	6.87	0.0738						4.5270	4.0969	0.4301	9.50	0.1050
	2	4.5230	4.2236	0.2994	6.62	0.0709						4.5110	4.1019	0.4091	9.07	0.0997
	3	4.5260	4.2178	0.3082	6.81	0.0731						4.5080	4.0892	0.4188	9.29	0.1024
11	1	4.5150	4.2080	0.3070	6.80	0.0730						4.5240	4.0906	0.4334	9.58	0.1060
	2	4.5130	4.2070	0.3060	6.78	0.0727						4.5370	4.1164	0.4206	9.27	0.1022
	3	4.5320	4.2401	0.2919	6.44	0.0688						4.5010	4.0797	0.4213	9.36	0.1033
12	1	4.4990	4.1971	0.3019	6.71	0.0719	4.5130	4.1790	0.3340	7.40	0.0799	4.5130	4.0838	0.4292	9.51	0.1051
	2	4.5200	4.2230	0.2970	6.57	0.0703	4.5130	4.1759	0.3371	7.47	0.0807	4.4950	4.0752	0.4198	9.34	0.1030
	3	4.5150	4.2111	0.3039	6.73	0.0722	4.5290	4.1920	0.3370	7.44	0.0804	4.5080	4.0802	0.4278	9.49	0.1049

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าสำเร็จรูป

Storage time (week)	Properties	Panel no. 1						Panel no. 2						Panel no. 3					
		Type I packaging (OPP/MCPP)			Type II packaging (OPP/CPP)			Type I packaging (OPP/MCPP)			Type II packaging (OPP/CPP)			Type I packaging (OPP/MCPP)			Type II packaging (OPP/CPP)		
		CH	AMB	ACC	CH	AMB	ACC	CH	AMB	ACC	CH	AMB	ACC	CH	AMB	ACC	CH	AMB	ACC
0	Overall		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6
	Color		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6
	Aroma		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6
	Taste		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6		6	6
1	Overall			6			6			6			6			6			6
	Color			6			6			6			6			6			6
	Aroma			6			6			6			6			6			6
	Taste			6			6			6			6			6			6
2	Overall			6			6			6			6			6			6
	Color			6			6			6			6			6			6
	Aroma			6			6			6			6			6			6
	Taste			6			6			6			6			6			6

3	Overall			6			6			4			4			5			5
	Color			6			6			5			5			5			5
	Aroma			5			6			4			4			5			4
	Taste			6			6			4			4			4			4
4	Overall		5	6		5	6		5	4		5	3		5	5		5	5
	Color		6	6		6	6		5	5		5	5		6	5		6	5
	Aroma		5	5		5	5		5	4		5	3		5	5		5	5
	Taste		5	6		5	6		5	4		5	3		5	5		5	5
5	Overall			5			4			3			3			5			5
	Color			6			5			4			5			5			5
	Aroma			5			4			3			3			4			4
	Taste			5			5			3			3			5			4
6	Overall			6			5			3			3			4			4
	Color			6			6			4			4			4			4
	Aroma			5			4			3			3			3			3
	Taste			6			5			3			3			3			3

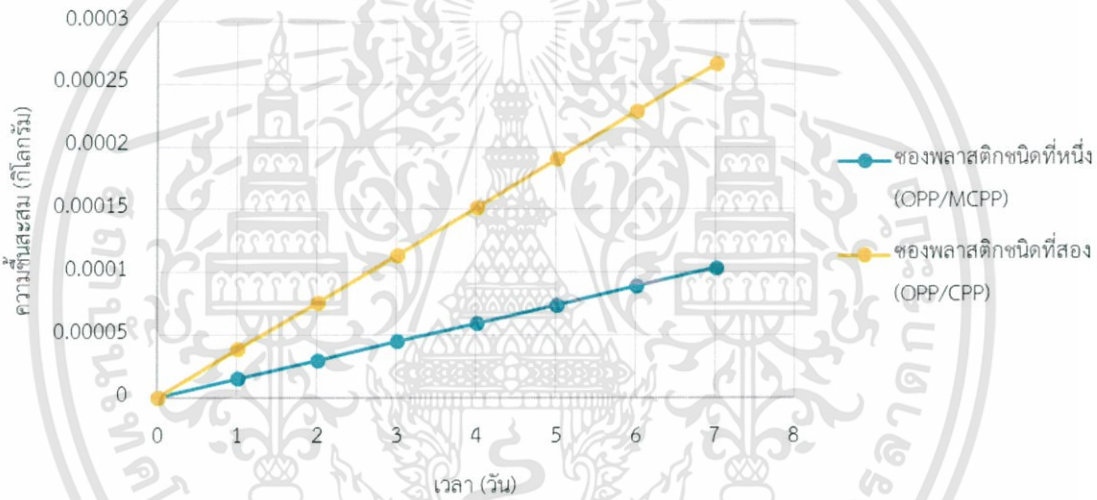
7	Overall			4			4			4			3			4			3
	Color			6			6			5			5			4			3
	Aroma			4			4			4			3			4			3
	Taste			5			4			4			3			4			3
8	Overall		5	4		4	4.5		5	4		5	4		5	4		4	3.5
	Color		6	6		6	5		6	5		6	5		5	3		5	4
	Aroma		5	4		4	4		5	4		5	3		5	3.5		4	3
	Taste		5	5		5	4		5	4		5	4		5	4		4	4
9	Overall			4.5			4			3			2			3			3
	Color			6			6			4			4			4			4
	Aroma			4			3			3			2			3			3
	Taste			4			4			3			2			3			3
10	Overall			4.5			4			3			2.5			4			3.5
	Color			5			5			4			4			4			4
	Aroma			3.5			3			3			2			3			4
	Taste			4			4			3			3			4			3

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำซองพลาสติกแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ สามารถหาได้จากการนำอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของซองพลาสติกแต่ละชนิด หารด้วยความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส



ความชื้นสะสมของซิลิกาเจลที่บรรจุในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง

$$WVTR = \frac{Slope}{A} = \frac{1.48\times10^{-5}}{0.0176} = 8.41\times10^{-4}\ {kg}/{day\cdot m^2}$$

ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของซองพลาสติกชนิดที่หนึ่ง

$$k = \frac{WVTR}{p} = \frac{8.41\times10^{-4}}{6275.47} = 1.27\times10^{-7}\ {kg}/{day\cdot m^2\cdot Pa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของซองพลาสติกชนิดที่สอง

$$WVTR = \frac{Slope}{A} = \frac{3.80\times10^{-5}}{0.0176} = 2.16\times10^{-3}\ kg/day\cdot m^2$$

ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของซองพลาสติกชนิดที่สอง

$$k = \frac{WVTR}{p} = \frac{2.16\times10^{-3}}{6275.47} = 3.25\times10^{-7}\ kg/day\cdot m^2\cdot Pa$$

2. การประเมินอายุการเก็บรักษาจากไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น

ตารางค่าคงที่สำหรับคำนวนอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง

Type of plastic bag	W_s (kg)	p (Pa)	k (kg m-2 day-1 Pa-1	A (m^2)	RH	X_i (g water / g dry pasta)	X_c (g water / g dry pasta)	a_w
ชนิดที่หนึ่ง	0.0206	6275.47	1.34E-07	0.0176	0.85	0.0642	0.0900	0.55
ชนิดที่สอง	0.0206	6275.47	3.44E-07	0.0176	0.85	0.0642	0.0900	0.55

อายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในซองพลาสติกชนิดที่หนึ่งที่สภาวะเร่ง

$$\theta = \frac{0.0206}{6275.47\times1.27\times10^{-7}\times0.0176}\left(\int_{0.0642}^{0.0900}\frac{1}{0.85-0.55}dx\right) = 119 \text{ วัน}$$

อายุการเก็บรักษาของพาสต้าสำเร็จรูปในซองพลาสติกชนิดที่สองที่สภาวะเร่ง

$$\theta = \frac{0.0206}{6275.47\times3.25\times10^{-7}\times0.0176}\left(\int_{0.0642}^{0.0900}\frac{1}{0.85-0.55}dx\right) = 46 \text{ วัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางทางสถิติ

ค่าเอฟทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

df2\ df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.7	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.8
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.7	4.68	4.66	4.64	4.62	4.6	4.59	4.58	4.57	4.56
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06	4.03	4	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.9	3.88	3.87
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.6	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.2	3.19	3.17	3.16	3.15
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.1	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.8	2.79	2.77
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.7	2.69	2.67	2.66	2.65
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.6	2.58	2.57	2.56	2.54
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.6	2.58	2.55	2.53	2.51	2.5	2.48	2.47	2.46
14	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.4	2.39
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.4	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.4	2.37	2.35	2.33	2.32	2.3	2.29	2.28
17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.2	2.19
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.2	2.18	2.17	2.16
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.23	2.2	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12
22	4.3	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.4	2.34	2.3	2.26	2.23	2.2	2.17	2.15	2.13	2.11	2.1	2.08	2.07
24	4.26	3.4	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.3	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2	1.99
28	4.2	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2	1.99	1.97	1.96
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.08	2.04	2.01	1.99	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2	1.97	1.95	1.92	1.9	1.89	1.87	1.85	1.84
45	4.06	3.2	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.1	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82	1.81
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.4	2.29	2.2	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.8	1.78
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.82	1.8	1.78	1.76	1.75
70	3.98	3.13	2.74	2.5	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81	1.79	1.77	1.75	1.74	1.72
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.72	1.7
100	3.94	3.09	2.7	2.46	2.31	2.19	2.1	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางความดันไอน้ำอิ่มตัว

ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (C°)	ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Pa)	อุณหภูมิ (C°)	ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Pa)	อุณหภูมิ (C°)	ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Pa)
-18	127.989	16	1,817.178	37	6,275.465
-10	286.642	17	1,937.168	38	6,624.768
-5	421.297	18	2,063.824	39	6,991.403
-2	527.955	19	2,197.146	40	7,375.371
-1	567.952	20	2,338.467	41	7,778.003
0	610.615	21	2,485.121	42	8,199.300
1	657.277	22	2,643.774	43	8,639.263
2	705.273	23	2,809.094	44	9,100.557
3	758.602	24	2,983.745	45	9,583.182
4	813.264	25	3,167.730	46	10,085.806
5	871.926	26	3,361.047	47	10,612.428
6	934.587	27	3,565.029	48	11,160.381
7	1001.248	28	3,779.677	49	11,734.999
8	1073.242	29	4,004.992	50	12,333.614
9	1147.902	30	4,242.305	55	15,737.324
10	1227.895	31	4,492.950	60	18,715.736
11	1311.888	32	4,887.583	65	25,003.200
12	1402.547	33	5,030.237	70	31,157.341
13	1497.206	34	5,319.546	80	47,343.960
14	1598.530	35	5,623.520	90	70,127.349
15	1715.854	36	5,940.826	100	101,324.687

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์	ส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์	โครงสร้าง	ราคา (บาท)
บรรจุภัณฑ์แบบเดิม	ถ้วยพลาสติก	ทำจากพลาสติก Polypropylene หนา 500 ไมครอน	3.05
	ฝาพลาสติกเมทัลไลซ์	ทำจากฟิล์มพลาสติก Polyethylene terephthalate หนา 12 ไมครอน ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Vacuum metalized polyethylene terephthalate หนา 12 ไมครอน และลามิเนตกับ HS Lacquer หนา 30 ไมครอน โดยการลิเมตจะใช้พลาสติก Polyethylene หนา 20 ไมครอน เป็นตัวเชื่อมแต่ละชั้น	0.35
	ซองบรรจุเครื่องปรุงรส	ทำจากฟอยล์อลูมิเนียม	0.32
	กระดาษแข็งหุ้มถ้วยพลาสติก	ทำจากกระดาษแข็ง Solid bleached board 210 แกรม	0.35
บรรจุภัณฑ์แบบใหม่	ถ้วยกระดาษ	ทำจากกระดาษแข็ง White board paper 240 แกรม ลามิเนตกับ Polyethylene	1.65
	ฝาพลาสติก	ทำจากฟิล์มพลาสติก Polyethylene terephthalate หนา 12 ไมครอน ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Low density polyethylene หนา 30 ไมครอน โดยการลิเมตจะใช้พลาสติก Polyethylene หนา 20 ไมครอน เป็นตัวเชื่อมแต่ละชั้น	0.18
	ซองบรรจุเครื่องปรุงรส	ทำจากฟอยล์อลูมิเนียม	0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรจุภัณฑ์แบบใหม่	กระดาษแข็งหุ้มถ้วยพลาสติก	ทำจากกระดาษแข็ง Solid bleached board 210 แกรม	0.35
	ซองพลาสติกสำหรับบรรจุพาสตาสำเร็จรูปชนิดที่หนึ่ง	ทำจากฟิล์มพลาสติก Orient polypropylene หนา 20 ไมครอน ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Metalized Cast Polypropylene หนา 25 ไมครอน	0.25
	ซองพลาสติกสำหรับบรรจุพาสตาสำเร็จรูปชนิดที่สอง	ทำจากฟิล์มพลาสติก Orient Polypropylene หนา 20 ไมครอน ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก Cast Polypropylene หนา 20 ไมครอน	0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลของพาสต้าสำเร็จรูป

General Information

Description

Pasta LM Egg Spiral, instant, 3 min cooking time.

Process: Pasta made from a blend of durum wheat semolina, barn egg white powder and water, extruded, cut, steamed and air dried.

Scientific Name: Triticum Durum

Component List

Ingredient list

Hierarchy Level	Identifier	Component Description	Value	UoM	Usage
1	Wheat, Durum, Semolina	Active ingredient	99.0000	%	WORLD
1	Egg white powder	Active ingredient	1.0000	%	WORLD

Sensoric Examination

Unprepared

Sensoric Examination

Property	Method	CoA	Cr	Usage
Appearance	UMA-5588	X	X	WORLD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Odour	UMA-5590	X	X	WORLD

Appearance

Yellowish pasta, double spirals

Odour

Neutral, without off-flavour

Prepared

Preparation Method

50 g into 1 l boiling water, remove from fire, wait 3 minutes

Sensoric Examination

Property	Method	CoA	Cr	Usage
Appearance	UMA-2043	X	X	WORLD
Odour	UMA-2043	X	X	WORLD
Taste	UMA-2043	X	X	WORLD
Texture	UMA-2043	X	X	WORLD

Appearance

Light yellow, homogenous, double spirals, which retain their shape

Odour

Typical of pasta, wheat-like, without off-flavour

Taste

Typical of pasta, wheat-like, without off-taste

Texture

Typical of pasta, "al dente"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions / Weight

Dimensions/Weight

Property	Target	Min	Max	UoM	Method	CoA	Cr	Usage
Length		17	32	MM	UMA-2023			WORLD
Thickness		0.4	0.7	MM	UMA-2023			WORLD
External Diameter		5.5	7.5	MM	UMA-2023			WORLD

Chemical-Physical Analysis

Chemical-Physical Analysis

Property	Target	Min	Max	UoM	Method	CoA	Cr	Usage
Nitrogen		2.1		%	UMA-0143			WORLD
Water		5.5	8.5	%	ISO-712			WORLD
Water Activity			0.55	VALUE	ISO-21807	X	X	WORLD
Ash on Dry Matter		0.7	0.95	%	ISO-2171			WORLD
Bulk Density Untapped		220	270	G/L	UMA-2024			WORLD

Microbiological Analysis

Infectious and Toxigenic Pathogens

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Property	n	c	m	M	UoM	Method	CoA	Cr	Usage
Bacillus cereus				1,000	CFU/G	ISO-7932			WORLD
Bacillus cereus						FDA BAM			WORLD
Clostridium perfringens				100	CFU/G	ISO-7937			WORLD
Clostridium perfringens						FDA BAM			WORLD
Salmonella cfu/25g				0	CFU/25G	ISO-6579	X	X	WORLD
Salmonella cfu/25g					CFU/25G	FDA BAM			WORLD
Staphylococcus aureus cfu/g				0	CFU/G	ISO-6888-1			WORLD
Staphylococcus aureus cfu/g						FDA BAM			WORLD

Indicator/Utility Microorganisms

Property	n	c	m	M	UoM	Method	CoA	Cr	Usage
Aerobic Plate Count				100,000	CFU/G	ISO 4833-1	X	X	WORLD
Aerobic Plate Count						FDA BAM			WORLD
Enterobacteriaceae				100	CFU/G	ISO-21528-2	X	X	WORLD
Coliforms cfu/g					CFU/G	ISO-4832			WORLD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coliforms cfu/g				100		FDA BAM			WORLD
Yeasts				1,000	CFU/G	ISO-21527-1	X	X	WORLD
Yeasts						FDA BAM			WORLD
Moulds				1,000	CFU/G	ISO-21527-1	X	X	WORLD
Moulds						FDA BAM			WORLD
Escherichia coli				0	CFU/G	ISO-16649-1	X	X	WORLD
Escherichia coli					CFU/G	FDA BAM			WORLD

Nutrition

Nutrition data

Property	Typical	UoM	Data Source	Binding Coeff	Binding Coeff	Sweetness vs Sucrose	Usage
Energy kJ	1,589	KJ	Supplier				WORLD
Energy kcal	375	KCL	Supplier				WORLD
Protein	13	G	Supplier				WORLD
Carbohydrate	76	G	Supplier				WORLD
Carbohydrate including fibre	78.5	G	Supplier				WORLD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Carbohydrate of which Sugars	3.5	G	Supplier				WORLD
Fat	1.5	G	Supplier				WORLD
Fat of which SAFA	0.3	G	Supplier				WORLD
Unsaturated Fat	1.200000	G	Calculation				WORLD
Fat of which Trans	0	G	Other				WORLD
Cholesterol	0	MG	Other				WORLD
Fibre Dietary	2.5	G	Supplier				WORLD
Sodium	0.006200	G	Calculation				WORLD
Sodium mg	6.2	MG	Supplier				WORLD
Water	6.5	G	Supplier	0.000000	0.000000	0.000000	WORLD
Salt as NaCl	0.015500	G	Calculation				WORLD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

แบบประเมินสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

SENSORY EVALUATION
MULTIPLE COMPARISON – DIFFERENCE

Name: _____ Date: _____
Product Name Instant Pasta
Sku / Formula # OPP/MCPP
Date of Production 7-Sep-18 **Lab**

Sensory panels shall include a minimum of 3 persons. Panels must include the Product

Please compare the samples against the standard using the scale below.
6 = Equal to standard , 5 = Slightly different, 4 = Moderately different, 3 = Distinctly different, 2 = Very much different, 1 = Extreamly Different

	SAMPLE CODES			COMMENTS
	STD	**AMB**	**ACC**	
OVERALL				
COLOUR				
AROMA				
TASTE/FLAVOR				

SENSORY EVALUATION
MULTIPLE COMPARISON – DIFFERENCE

Name: _____ Date: _____
Product Name Instant Pasta
Sku / Formula # OPP/MCPP
Date of Production 7-Sep-18 **Lab**

Sensory panels shall include a minimum of 3 persons. Panels must include the Product

Please compare the samples against the standard using the scale below.
6 = Equal to standard , 5 = Slightly different, 4 = Moderately different, 3 = Distinctly different, 2 = Very much different, 1 = Extreamly Different

	SAMPLE CODES			COMMENTS
	STD	**AMB**	**ACC**	
OVERALL				
COLOUR				
AROMA				
TASTE/FLAVOR				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้